



INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

**AVALIAÇÃO DA RESISTENCIA ADESIVA RESINA COMPOSTA /
RESINA COMPOSTA APOS IRRIGAÇÃO ENDODONTICA**

Trabalho submetido por
Valentin Daniel Moncuit
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Outubro de 2020



INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

AVALIAÇÃO DA RESISTENCIA ADESIVA RESINA COMPOSTA / RESINA COMPOSTA APOS IRRIGAÇÃO ENDODONTICA

Trabalho submetido por
Valentin Daniel Moncuit
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutora Alexandra Pinto

e coorientado por
Prof. Doutora Inês Caldeira Fernandes

Outubro de 2020

“En vérité, le chemin importe peu, la volonté d'arriver suffit à tout.”

Albert Camus`

AGRADECIMENTOS

Muito obrigado à Prof^a Doutora Alexandra Pinto, minha orientadora, que desde o meu primeiro ano em Portugal partilhou comigo o seu grande interesse pela dentisteria, tanto na prática como na clínica. Ela tornou-se um exemplo e um modelo para mim nesta disciplina, e através das suas exigências, permitiu-me aperfeiçoar as minhas competências. Gostaria de lha agradecer profundamente por ter aceitado ser minha orientadora de tese, e do seu acompanhamento sem falhas ao longo da minha investigação, o culmino dos meus estudos. Agradeço também à Prof^a Doutora Inês Fernandes, minha co-orientadora, pelo seu relevante ensino, que enriqueceu os meus conhecimentos, e pela sua exigência que me tornaram melhor no meu trabalho clínico. Gostaria também de agradecer ao Prof. Doutor Mário Polido por ter disponibilizado o laboratório, local indispensável à realização deste projecto. Ao Prof. Doutor Luís Proença pelo auxílio crucial na análise estatística deste trabalho.

Aos meus pais, que durante muito tempo foram modelos e inspirações para mim, que foram capazes de me apoiar em todos estes momentos da minha vida, sejam eles alegres ou um pouco menos. Conseguiram devolver-me o orgulho quando eu já não o tinha. À minha mãe, por todo o amor que tu me destes, todo o teu apoio diário. Ao meu pai, que admiro por todas as concessões que fizeste ao longo dos anos para melhorar os meus dias, por todos os valores que partilhaste comigo e me moldaram, apesar das tuas exigências, continuas a ser para mim uma das pessoas mais influentes na minha vida. Aos meus avós, um grande obrigado pelo vosso apoio. A toda a minha família. Um grande obrigado, especialmente à Soninha, a quem agradeço todo o apoio durante os meus anos mais difíceis, e especialmente a tua compreensão. Ficas a ser uma das pessoas que mais me marcou na minha vida. À Maïlys ou à Peggy, agradeço por todos os bons momentos passados ao vosso lado. Agradeço também à Laura, à Margaux pelo seus apoios ao longo dos anos. Aos meus parceiros especialmente a Sandie Leroi, a minha chickita preferida, desejo-te o melhor na tua vida futura, e nos teus anos de práticas, terei sempre boas memórias do tempo passado contigo na clínica. Obrigado a vocês por me terem acompanhado durante estes anos e por me terem permitido melhorar a minha prática clínica.

Gostaria de vos agradecer muito a todos pela influência positiva que têm na minha vida.

RESUMO

Objectivo : Antes de realizar um tratamento endodôntico, uma restauração pré-endodôntica é muitas vezes desejável. Durante um tratamento endodôntico, o hipoclorito de sódio é amplamente utilizado como irrigante, e as suas vantagens estão amplamente estudadas. A restauração definitiva com resina composta e sua adesão na resina da restauração pré-endodôntica poderá ser alterada após a irrigação. Neste estudo o objectivo é avaliar a resistência adesiva à microtração entre resina composta/resina composta após tratamento endodôntico irrigado com hipoclorito de sódio.

Materiais e Métodos : Blocos de resina composta nanohíbrida Grandio (VOCO) de cor A1 são realizados com uma chave de silicone. As amostras serão, divididas em quatro grupos : Grupo 1 : sem irrigação restauramos com resina composta igual, após condicionamento ácido com ácido ortofosfórico e sistema adesivo OptiBond FL™ (Kerr) ; Grupo 2 : após irrigação com Hipoclorito de Sódio (1%), os blocos são restaurados após condicionamento ácido com ácido ortofosfórico e sistema adesivo OptiBond FL™ (Kerr) ; Grupo 3 : após irrigação com hipoclorito de sódio, os blocos são instrumentados com broca diamantada, e são restaurados após condicionamento ácido com ácido ortofosfórico e sistema adesivo OptiBond FL™ (Kerr) ; Grupo 4 : após irrigação com hipoclorito de sódio, os blocos são jateados com jacto de óxido de alumínio silicatizado, CoJet Sand de 30µm (3M), faz-se aplicação de silano (RelyX™ Ceramic Primer, 3M-ESPE), sistema OptiBond FL™ (Kerr) e são de seguida restaurados. Todas as amostras são cortadas em palitos com secção igual a 1mm, que são depois sujeitos a teste de microtração, numa máquina universal (Shimadzu Autograph AG-IS, Tóquio, Japão) a uma velocidade de 1mm/min. Os resultados serão tratados estatisticamente. Foram utilizados os testes ANOVA one-way e testes post-hoc com $p \leq 0,05$.

Resultados : Nota-se uma diferença estatisticamente significativa entre os diferentes grupos testados pelo teste ANOVA unidireccional ($F(3,143) = 34,833$, $p = 0,000$). Os valores registados para o Grupo 4 (10,0523MPa) são estatisticamente mais elevados que os dos restante grupos ($p = 0,000$).

Conclusão : A resistência adesiva entre uma resina composta e uma resina composta após irrigação endodôntica é maior com a realização de um protocolo adesivo que inclui a silicatização e silanização da superfície.

Palavras-chaves : hipoclorito de sódio ; resistência adesiva ; resina composta ; Microtração

ABSTRACT

Objective : When performing an endodontic treatment, a pre-endodontic restoration is mostly desirable. During an endodontic treatment, sodium hypochlorite is widely used as an irrigation agent, and its advantages are widely studied. The adhesion of the definitive composite restoration to the pre-endodontic restoration resin may be changed after irrigation. In this study the objective is to evaluate the adhesive resistance (μ TBS) between composite resin/composite resin after endodontic treatment irrigated with sodium hypochlorite.

Materials and methods : Grandio (VOCO) color A1 nanohybrid composite resin blocks are made with a silicone key. The samples are divided into four groups : Group 1 : without irrigation, the blocks are restored with the same composite resin after acid conditioning with orthophosphoric acid and OptiBond FLTM (Kerr) adhesive system ; Group 2 : after irrigation with Sodium Hypochlorite (1%), the blocks are restored after acid conditioning with orthophosphoric acid and OptiBond FLTM (Kerr) adhesive system ; Group 3 : After irrigation with sodium hypochlorite, the blocks are instrumented with a diamond burr, and are restored after acid conditioning with orthophosphoric acid and OptiBond FLTM (Kerr) adhesive system ; Group 4 : After irrigation with sodium hypochlorite, the blocks are blasted with silicatised aluminium oxide jet, CoJet Sand of 30 μ m (3M), silane is applied (RelyXTM Ceramic Primer, 3M-ESPE), OptiBond FLTM (Kerr) adhesive system and then restored. All samples are cut into sticks with a section equal to 1mm, which are then subjected to microtraction testing on a universal machine (Shimadzu Autograph AG-IS, Tokyo, Japan) at a speed of 1mm/min. The results will be treated statistically. One-way ANOVA tests and post-hoc tests with $p \leq 0,05$ were used.

Results : There is a statistically significant difference between the different groups tested by the unidirectional ANOVA test ($F(3,143) = 34,833$, $p = 0,000$). The values recorded for Group 4 (10.0523MPa) are statistically higher than for the other groups ($p = 0.000$).

Conclusion : The adhesive strength between a composite resin and a composite resin after endodontic irrigation is higher when following an adhesive protocol including silicatisation and silanisation of the surface.

Keywords : Sodium hypochlorite ; adhesive strength ; resine composite ; Micro bond tensile strength

RÉSUMÉ

Objectif : Avant d'effectuer un traitement endodontique, une restauration pré-endodontique est la plupart du temps souhaitable. Lors d'un traitement endodontique, l'hypochlorite de sodium est utilisé comme agent d'irrigation, et ses avantages sont largement étudiés. La restauration définitive et son adhérence à la résine de restauration pré-endodontique peuvent être modifiées après l'irrigation. Dans cette étude, l'objectif est d'évaluer la résistance adhésive à la microtraction entre deux résines composites après un traitement endodontique irrigué à l'hypochlorite de sodium.

Matériels et méthode : Des blocs de résine composite nanohybride Grandio (VOCO) de couleur A1 sont réalisés avec une clé en silicone. Les échantillons sont divisés en quatre groupes : Groupe 1 : sans irrigation les blocs sont restaurés avec la même résine composite après un conditionnement acide avec de l'acide orthophosphorique et utilisation du système adhésif OptiBond FL™ (Kerr) ; Groupe 2 : après irrigation avec de l'hypochlorite de sodium (1%), les blocs sont restaurés après un conditionnement acide avec de l'acide orthophosphorique et utilisation du système adhésif OptiBond FL™ ; Groupe 3 : après irrigation à l'hypochlorite de sodium, les blocs sont préparés avec une fraise diamantée, et sont restaurés après un conditionnement à l'acide avec de l'acide orthophosphorique et utilisation du système adhésif OptiBond FL™ ; Groupe 4 : Après irrigation à l'hypochlorite de sodium, les blocs sont préparés avec un jet d'oxyde d'aluminium silicié, du sable CoJet de 30µm (3M), du silane est appliqué (RelyXTM Ceramic Primer, 3M-ESPE), puis le système adhésif OptiBond FL™ et ensuite restaurés. Tous les échantillons sont coupés en bâtonnets d'une section égale à 1 mm, qui sont ensuite soumis à un test de microtraction sur machine universelle (Shimadzu Autograph AG-IS, Tokyo, Japon) à une vitesse de 1 mm/min. Les tests ANOVA one-way et post-hoc ont été réalisés avec $p \leq 0,05$.

Résultats : On remarque une différence statistiquement significative entre les groupes testés avec ANOVA one-way ($F(3,143) = 34,833$, $p = 0,000$). La valeur de μTBS du groupe 4, est significativement différente statistiquement par rapport aux autres groupes ($p = 0,000$).

Conclusion : La résistance adhésive entre une résine composite et une résine composite après irrigation endodontique est plus élevée en suivant un protocole adhésif comprenant la silicatisation et silanisation de la surface.

Mots-clés : Hypochlorite de sodium ; résistance adhésive ; résine composite ; microtraction

ÍNDICE GERAL

LISTA DE ABREVIATURAS.....	10
I. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. ADESÃO.....	13
1.1.1. <i>Mecanismos de adesão</i>	13
1.1.1.1. Princípios gerais do mecanismo de adesão.....	13
1.1.1.2. Papel da smear layer na adesão	16
1.1.2 <i>Tipos de adesivos</i>	18
1.1.2.1. Self-etch	20
1.1.2.2. Etch-and-rinse.....	23
1.1.2.3. Universal	25
1.1.3. <i>Adesão Resina Composta - Resina Composta : camada inibida de oxigénio</i>	25
1.2 RESINA COMPOSTA.....	27
1.2.1. <i>Composição</i>	27
1.2.1.1. Matriz Orgânica	28
1.2.1.2. Matriz Inorgânica	29
1.2.1.3. Agente de União.....	30
1.2.1.4 Iniciadores	30
1.2.2. <i>Reacção de fotopolimerização</i>	31
1.2.3. <i>Classificação das resinas compostas</i>	33
1.3. RESISTENCIA ADESIVA DE RESINA COMPOSTA A RESINA COMPOSTA	36
1.3.1. <i>Resistência adesiva</i>	36
1.3.2. <i>Tratamento de superfície</i>	36
1.3.2.1. Condicionamento ácido	38
1.3.2.1. Brocas diamantadas.....	38
1.3.2.2. Silicatização.....	39
1.3.2.3. Silanização.....	41
1.3.3 <i>Avaliação da adesão</i>	42
1.3.3.1. Teste de microtração.....	43
1.4. RESTAURAÇÃO PRE-ENDODONTICA	45
1.5. IRRIGAÇÃO ENDODONTICA	46
1.5.1. <i>Objectivo da irrigação endodôntica</i>	46
1.5.2. <i>Tipos de irrigantes</i>	49
1.5.2.1. Clorexidina	49
1.5.2.2. EDTA	49
1.5.2.3. NaOCl	50
1.5.2.4. Outros Irrigantes	52
1.5.3. <i>Efeito do hipoclorito de sódio sobre a adesão</i>	54

1.5.4. Efeito do hipoclorito de sódio sobre a resina composta	55
II. OBJETIVOS DO ESTUDO.....	56
2.1. HIPOTHESES DO ESTUDO	56
2.1.1. Hipótese Nula	56
2.1.2. Hipótese alternativa.....	56
III. MATERIAS E MÉTODOS.....	57
3.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	57
3.1.1. Diferentes grupos.....	57
3.1.2. Preparação.....	61
3.2 TESTE DE MICROTRAÇÃO	64
3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA	65
IV RESULTADOS.....	66
V DISCUSSÃO	71
VI CONCLUSÃO	79
6.1. RELEVANCIA CLÍNICA	79
6.2. PERSPECTIVAS FUTURAS	80
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. A DIFERENÇA MORFOLOGICA QUANDO SE UTILIZA UM SISTEMA ETCH-AND-RINSE (A) OU SELF-ETCH (B).	19
FIGURA 2. AS DIFERENTES ETAPAS DURANTE UM TRATAMENTO SELF-ETCH, ESQUEMATIZADO E VISTO COM UM MICROSCOPIO ELECTRONICO DE VARRIMENTO	20
FIGURA 3. AS DIFERENTES ETAPAS DURANTE UM TRATAMENTO ETCH-AND-RINSE, ESQUEMATIZADO E VISTO COM UM MICROSCOPIO ELECTRONICO DE VARRIMENTO.....	23
FIGURA 4. REVESTIMENTO TRIBO-QUIMICO COM CoJET SAND	40
FIGURA 5. PERCENTAGEM DE INQUIRIDOS QUE UTILIZAM CADA IRRIGANTES COMO PRIMARIO, OU PRINCIPAL, DURANTE O TRATAMENTO DO CANAL RADICULAR.....	48
FIGURA 6. NUMERO DE INQUIRIDOS QUE UTILIZAM CADA GAMA DE CONCENTRAÇÃO DE NaOCl NOS SEUS PROTOCOLOS DE IRRIGAÇÃO.	48
FIGURA 7. REAÇÃO DE SAPONIFICAÇÃO.....	51
FIGURA 8. REAÇÃO DE NEUTRALIZAÇÃO DOS AMINOACIDOS.	51
FIGURA 9. REAÇÃO DE CLORAMINAÇÃO.	51
FIGURA 10. METODO DE IRRIGAÇÃO DOS BLOCOS DE RESINA COMPOSTA	58
FIGURA 11. A : CHAVE DE SILICONE. B : ÚLTIMA CAMADA DE RESINA COMPOSTA, FOTOPOLIMERIZADO COM UMA FOLHA DE ACETATO. C : APLICAÇÃO DE GLICERINA EM TODAS AS SUPERFICIES DO BLOCO.....	62
FIGURA 12. A : BLOCO DE RESINA COMPOSTA COM MATRIZ METALICA. B E C : CONDICIONAMENTO ACIDO COM ACIDO ORTOFOSFORICO DE 37%. D : APLICAÇÃO DO BOND (OptiBOND FL™). E : PREENCHIMENTO COM RESINA COMPOSTA GRANDIO (VOCO). F : BLOCO RESTAURADO. G : BLOCO CORTADO COM MICROTOMO. H : PALITOS. I : JIG DE GERADELI COM UM PALITO COLADO.....	63
FIGURA 13. ESQUEMA REPRESENTATIVO DO PROCEDIMENTO LABORATORIAL	64
FIGURA 14. DIAGRAMA DE CAIXA DAS FORÇAS DE ADESÃO ENTRE OS DIFERENTES GRUPOS (MPa).....	67
FIGURA 15. VALOR DA MEDIA DA RESISTENCIA ADESIVA DE CADA GRUPO	67

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 : RESUMO DO PROTOCOLO.	59
TABELA 2 : COMPOSIÇÃO DOS MATERIAIS USADOS.	60
TABELA 3 : COMPARAÇÃO DOS VALORES DE MTBS (MPa) ENTRE OS GRUPOS	66
TABELA 4 : TESTES DE NORMALIDADE.....	68
TABELA 5 : TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIANCIAS	68
TABELA 6 : TESTE DE ANOVA ONE-WAY	69
TABELA 7 : TESTES POST-HOC, COMPARAÇÕES MULTIPLAS - TUKEY HSD	70

LISTA DE ABREVIATURAS

1SE – *Self-etch* de um passo

2E&R – *Etch-and-rinse* de dois passos

2SE – *Self-etch* de dois passos

3E&R – *Etch-and-rinse* de três passos

4-MET – 4-metacriloxietil trimelítico

10-MDP – 10-metacriloxietil dihidrogenofosfato

AAE – Associação Americana de Endodontia (*American Association of Endodontists*)

Bis-EMA – Bisfenol A etoxilado dimetacrilato

BisGMA – Bisfenol A glicidil metacrilato

BHT – 2,6-di-(tert-butil)-metilfenol

C0² – Dióxido de carbono

CQ – Canforoquinona

E&R – *Etch-and-rinse*

EDTA – Ácido etilenodiaminotetracético

Er, Cr : YAG – Laser de érbio cromo dopado por grandada de alumínio de ítrio

Er : YAG – Laser de érbio dopado por grandada de alumínio de ítrio

Fenil-P – Fenil fosfato

GPDM – Glicerol fosfato dimetacrilato

H⁺ - íões hidrogénio

HCLO – Ácido hipocloroso

HEMA – 2-hidroxietil metacrilato

mm - milímetro

mm² – milímetro quadrado

mm/min – milímetro por minuto

m - minuto

min-1 – Rotações por minuto

MMEP – Mono-2-(metacrililoiloxi) ftalato de etilo

MMPs – Metaloproteinases da matriz dentinária

MCJ – Moridia citrifolia

MEV – Microscopia Electrónica de Varrimento
MET – Microscópio Eletrônico de Transmissão
MPa – Megapascais
MPS – metacriloxiproyltrimetoxissilano
MTAD - Mistura de um isômero de Tetraciclina, Ácido cítrico e Detergente
NaOCl – Hipoclorito de sódio
NCI – Cloramina
Nd : YAG – Laser de neodímio dopado por grandada de alumínio de ítrio
nm – nanómetro
OCl⁻ – Ião hipoclorito
ODMAB – 2-(etilhexil)-4-(dimetilamino)benzoato
pH – Potencial hidrogénio
s – Segundo
SE – *Self-etch*
TEGDMA – Trietilenoglicol dimetacrilato
UDMA – Uretano dimetacrilato
UV – Radiação ultravioleta
µm – Micrómetro
µTBS – Resistência adesiva à microtração (*microtensile bond strength*)

I. INTRODUÇÃO

1.1. Adesão

1.1.1. Mecanismos de adesão

1.1.1.1. Princípios gerais do mecanismo de adesão

O trabalho do Dr. Buonocore sobre a adesão em 1955 levou ao conceito de *etching* (Buonocore, 1955) que evidenciou o aumento da retenção dos materiais dentários através de porosidades microscópicas, após o condicionamento ácido. Os progressos no domínio da dentisteria adesiva foram imensos e permitiram, nomeadamente, responder ao novo imperativo da dentisteria moderna : a proteção dos tecidos dentários. (Söderholm, 2007 ; Sezinando, 2013). O campo das indicações para os sistemas adesivos está bem estabelecido e a sua contribuição para o desenvolvimento de uma terapêutica mais conservadora, mais estética e mais biocompatível já não é discutível hoje em dia. Os problemas colocados pelos adesivos estão relacionados com a sua eficácia imediata e a longo prazo. (Degrange & Pourreyron, 2010).

A composição clássica de um adesivo inclui normalmente : iniciadores, inibidores ou estabilizadores, solventes e, em alguns casos, componentes inorgânicos (cargas). Os adesivos dentários são soluções de monómeros anfipáticos, o que significa que são compostos por monómeros hidrofílicos e hidrofóbicos. (Sezinando, 2014 ; da Rosa *et al*, 2015). Os adesivos dentários são constituídos por três componentes principais : o *etchant* (ou condicionador), o *primer* e a resina adesiva (ou *bond*). O *etchant*, em primeiro lugar, corresponde a uma solução ácida que irá remover ou alterar a *smear layer*, e desmineralizar o substrato preparando-o para o passo seguinte ; o *primer*, que é um componente mais frequentemente anfipático, irá penetrar no substrato dentinário desmineralizado e prepará-lo para o passo seguinte ; a resina adesiva (ou *bond*) será então incorporada e uma vez polimerizada, irá formar a estrutura de interface entre os dois materiais. Esta nova camada é chamada a camada híbrida. (Hilton, 2013). Todas estas etapas serão detalhadas no resto do presente capítulo.

O princípio fundamental da adesão ao tecido dentário pode ser resumido simplesmente pela substituição do material dentário inorgânico, a hidroxiapatite, por resinas sintéticas. (Degrange & Pourreyron, 2010 ; Hilton, 2013 ; Sezinando, 2014). Este processo ocorre em duas fases : primeiro, a remoção dos cristais de hidroxiapatite para criar microporos dentro dos componentes dentários, isto é conseguido através do condicionamento da superfície com o ácido fosfórico numa concentração de cerca de 35%, que removerá selectivamente os cristais de hidroxiapatite presentes ao redor das fibras de colagénio (numa utilização sobre a dentina ou o esmalte). (da Rosa *et al*, 2015 ; Hutmacher, 2015) ; depois, numa segunda fase, a infiltração dos monómeros de resina, seguida da sua polimerização. Os monómeros que penetraram nas microporosidades criadas pelo condicionamento ácido vão juntar-se ao material restaurador por polimerização, que é geralmente um composto. Isto ajuda a formar uma interface mista de tecidos e biomateriais (do sistema adesivo), chamada camada híbrida. Esta camada pode ser considerada como uma forma de engenharia de tecidos. (Degrange & Pourreyron, 2010 ; Anusavice, 2013 ; Sezinando, 2014 ; Miletic, 2018). Esta adesão pode ser o resultado de ligações químicas primárias, tais como ligações covalentes, iónicas ou metálicas. Pode conter forças secundárias : ligações de hidrogénio, força de Van der Waals ... Quer se baseiem em forças químicas primárias ou forças secundárias, a adesão baseia-se em interações moleculares entre duas superfícies em contacto íntimo. (Hilton, 2013).

Três critérios deverão ser necessariamente estabelecidos para promover uma verdadeira adesão : a integridade e durabilidade dos tecidos dentários saudáveis, a obtenção de uma retenção óptima e a prevenção da microinfiltração por estabilidade hidrolítica (resistência química à degradação da água). (Anusavice, 2013 ; Hutmacher, 2015). Em geral, para se estabelecer uma aderência duradoura na cavidade oral é necessário ter : uma boa molhabilidade do adesivo na superfície condicionada para permitir interações estruturais, a energia de superfície desempenha um papel muito importante ; a formação de uma zona híbrida por interpenetração do adesivo ; a interligação (interlocking) micromecânica ; a adesão química ; e a protecção da interface contra a degradação no meio oral. (Anusavice, 2013 ; Sezinando, 2014).

A molhabilidade é essencial para o sucesso do mecanismo de adesão. Um adesivo só pode formar interligações micromecânicas ou formar uma rede de interpenetração com uma superfície, se é capaz de estabelecer um contacto íntimo com a superfície, espalhar-se sobre ela, penetrá-la por atracção capilar nas irregularidades microscópicas e submicroscópicas. Geralmente, a molhabilidade de uma superfície pode ser melhorada pelo aumento da sua energia superficial. O condicionamento ácido é amplamente utilizado no esmalte para promover este aumento da energia de superfície. (Degrange & Pourreyn, 2010 ; Lung & Matinlinna, 2012 ; Anusavice, 2013 ; Hilton, 2013). A presença de um forte grupo hidrofílico na composição do sistema adesivo também aumenta consideravelmente a molhabilidade do adesivo. (Sezinando, 2014).

A molhabilidade é essencial no processo de criação da adesão, mas não é suficiente por si só. A composição química do adesivo vai definir também como o adesivo vai molhar a superfície e, conseqüentemente, a resistência da sua adesão. Uma molécula é mais susceptível de se ligar a uma molécula idêntica, por essa razão dois materiais com a mesma composição química de superfície são mais susceptíveis de interagir e aderir um ao outro. É por isso que algumas moléculas são comuns na composição do adesivo e do compósito. (Hilton, 2013).

Uma vez aplicado na superfície, o adesivo tem de solidificar para que a ligação seja eficaz, a infiltração dos monómeros resinosos resulta na formação de estruturas, os resin-tags que são micro-mecanicamente retidas pelo tecido duro, estas estruturas são, por conseguinte consideradas como um factor importante na retenção da força adesiva. (Anusavice, 2013 ; Miletic, 2018). O principal componente desta adesão é, portanto, micromecânico, ou até mesmo nano-mecânico. Além disso, a presença de grupos funcionais ácidos, particularmente associados a um fosfato (por exemplo, Fenil-P ou 10-MDP) ou a um grupo carboxilo (por exemplo, 4-MET) de certos monómeros é susceptível de formar ligações químicas primárias, particularmente com o substrato dentário, ou mais precisamente com o cálcio da hidroxiapatite. (Yoshida *et al*, 2004 ; Degrange & Pourreyn, 2010 ; Anusavice, 2013 ; Hutmacher, 2015 ; Miletic, 2018). Adicionalmente, podem ser criadas forças de coesão sob a forma de uma ligação intermolecular de hidrogénio entre grupos amida ou carboxílico de monómeros funcionais de resina e os aminoácidos das fibras colagénicas. Foi igualmente

observado o papel das forças de Van der Waals e das interações electrostáticas entre o monómero e as fibras de colagénio na força adesiva e na selagem marginal. (Miletic, 2018).

1.1.1.2. Papel da smear layer na adesão

Independentemente do sistema adesivo, o procedimento de adesão começa com um tratamento ácido para remover ou transformar a *smear layer*. A *smear layer* é uma película orgânica fina de 0,5-5µm de espessura que se forma como resultado da instrumentação mecânica da superfície a tratar. Esta camada é um aglomerado poroso e heterogéneo de detritos calcificados, fibras de colagénio parcialmente desnaturadas, componentes salivares, sangue, e bactérias. No caso da adesão à dentina, estes detritos enchem os túbulos dentinários, formando tampões denominado “*smear-plugs*”. A *smear layer* actua como uma barreira física e reduz a permeabilidade da dentina até 86% . (Hilton, 2013). O tratamento ácido afecta esta camada, quer dissolvendo-a quer tornando-a permeável. De facto, o tratamento ácido actua para além desta camada para criar as microrugosidades favoráveis à infiltração dos monómeros. Após a polimerização destes monómeros, forma-se uma nova camada que é então denominada camada híbrida. Este conceito surgiu em 1982, com a publicação de Nakabayashi *et al* que apresentaram a teoria da formação da camada híbrida. Esta camada irá então fornecer retenção mecânica do material restaurador dentário através da formação de *resin-tags*. (Nakabayashi, N., Kojima, K., Matsuhara, 1982 ; Degrange & Pourreyron, 2010 ; Sezinando, 2014 ; da Rosa *et al*, 2015 ; A. Asiri *et al*, 2018). A camada híbrida é um entrelaçamento de dois tipos de polímeros : as fibras de colagénio e a matriz dentinária, um polímero de origem natural, por um lado, e as macromoléculas do adesivo, um polímero sintético, por outro. Este ancoragem micro-mecânica pode ser comparado a um "velcro" na escala macromolecular. (Degrange & Pourreyron, 2010). A boa adesão e a integridade da camada híbrida garantem a longevidade de uma restauração directa ou indirecta. (Nima *et al*, 2020).

Existem, portanto, duas abordagens diferentes para o tratamento da *smear layer* :

- O método de remoção da *smear layer* : esta técnica visa remover o máximo possível a *smear layer* pelo condicionamento com ácido ortofosfórico. Nesta técnica, o ácido é lavado, o que corresponde à técnica do "etch-and-rinse". Segundo Asiri *et al*, após

analisarem morfológicamente a dentina, com Microscopia electrónica de varrimento (MEV), constataram que a infiltração do adesivo aumenta consideravelmente após o condicionamento ácido. (A.M. Asiri *et al*, 2018). No entanto, existem desafios com esta técnica de tratamento da dentina. Após o condicionamento, a secagem do substrato dentinário pode causar uma desidratação excessiva das fibrilhas desmineralizadas do colagénio dentinário, o que pode levar ao colapso da rede fibrilar do colagénio, reduzindo assim consideravelmente a infiltração dos monómeros adesivos. (Hutmacher, 2015 ; A. M. Asiri *et al*, 2018). O conceito “*wet*” ou “*moist*” *bonding* surgiu no final dos anos 90, a fim de ultrapassar este problema. Nos solventes que não têm água na sua composição (etanol, acetona por exemplo), foram introduzidos na composição do adesivo uma base hidrofílica, ou um monómero hidrofílico (como o 2-hidroxietilmetacrilato ou HEMA) para ajudar a manter a rede de colagénio aberta e, por conseguinte, o espaço necessário para a infiltração dos monómeros. Contudo, a adição do grupo hidrofílico pode também aumentar a taxa de degradação hidrolítica da interface. Outra grande desvantagem dos sistemas adesivos *etch-and-rinse* é a desmineralização excessiva para além do nível final da infiltração de monómeros, enfraquecendo assim as estruturas subjacentes. (Hashimoto *et al*, 2000 ; Hutmacher, 2015 ; A. M. Asiri *et al*, 2018). Um dos métodos discutidos na literatura como prevenção da degradação hidrolítica é a aplicação de uma camada adicional de resina, portanto hidrofóbica, cobrindo o adesivo já polimerizado, a fim de aumentar a espessura e a uniformidade da camada adesiva enquanto reduz a passagem de fluidos através da interface adesiva. (Muñoz, 2014 ; Sezinando, 2014).

- O método de modificação por dissolução da *smear layer* : esta técnica baseia-se no facto de que a *smear layer* tem componentes calcificados que poderiam, por conseguinte, aumentar a resistência da ligação ao nível da interface. Nesta situação, a *smear layer* é, portanto, incluída na camada híbrida. Esta técnica também é chamada “*self-etch*”. A profundidade da camada híbrida é reduzida, mas vários estudos demonstraram que a sua qualidade seria superior àquela produzida pela técnica de *etch-and-rinse*. Contudo, a elevada concentração de água e de monómeros hidrofílicos contida em alguns adesivos auto-condicionantes pode afectar a estabilidade adesiva da interface a longo prazo. Foram investigados diferentes solventes para ultrapassar este problema, para permitir a remoção

da água na dentina, mas isso resulta numa diminuição volumétrica da rede de fibras do colagénio. (A. M. Asiri *et al*, 2018). A eficácia da adesão depende, sobretudo da sua aplicação, sendo extremamente dependente da manipulação do médico. (Degrange & Pourreyron, 2010). No entanto, uma vez que a *smear layer* não está firmemente ligada ao substrato dentário, uma penetração demasiado superficial, atingindo apenas parcialmente as estruturas dentárias subjacentes, poderia comprometer a formação de uma aderência eficaz. (Van Meerbeek *et al*, 2011).

1.1.2 Tipos de adesivos

Foi inicialmente proposta uma classificação histórica dos sistemas adesivos que não tinha em conta os seus princípios de acção e desempenho. Esta classificação ordenou os sistemas adesivos em gerações. Porém, não parece óbvio que cada geração represente um contributo terapêutico em comparação com a geração anterior. Por conseguinte, foi necessário recorrer a uma classificação mais pragmática para as distinguir. Esta classificação baseia-se na interação do sistema adesivo com a *smear layer*, a sua composição e as etapas da sua aplicação clínica :

- sistemas que requerem um condicionamento ácido seguido de lavagem com água antes da utilização (E&R = *etch-and-rinse*), removem a *smear layer* ; é feita uma distinção entre 3E&R e 2E&R com base no número de etapas de aplicação.
- sistemas aplicados directamente nas superfícies dentárias, sem condicionamento prévio (SE = *self-etch*), alteram mas não removem a *smear layer* ; este tipo inclui os sistemas 2SE e 1SE.
- a última evolução dos sistemas adesivos, que tem atraído muita atenção ; os "adesivos universais", para os quais o condicionamento com ácido é opcional, dependendo se são utilizados no modo E&R, SE ou *selective enamel etching*.

(Pashley, 2002 ; Söderholm, 2007 ; Degrange & Pourreyron, 2010 ; Anusavice, 2013 ; Hilton, 2013 ; Ozer & Blatz, 2013 ; Sezinando, 2014 ; Marchesi *et al*, 2014 ; da Rosa *et al*, 2015 ; Miletic, 2018).

A micromorfologia das *resin-tags* difere geralmente em função do sistema adesivo utilizado, de facto, nos sistemas *etch-and-rinse* formam-se estruturas em forma de cone, mais espessas com ramificações, enquanto nos sistemas *self-etch* as estruturas são mais finas, cilíndricas e com poucas ramificações. (Miletic, 2018).

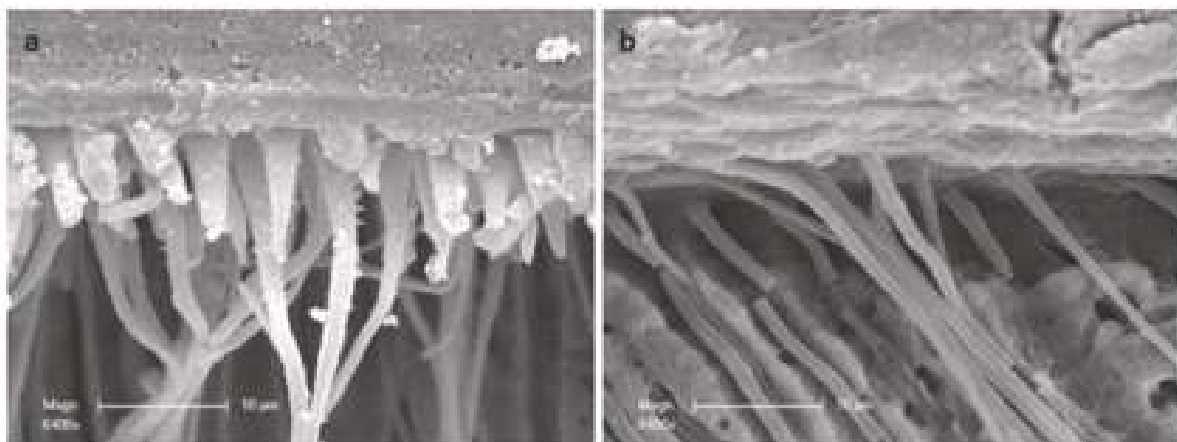


Figura 1. A diferença morfológica quando se utiliza um sistema *etch-and-rinse* (A) ou *self-etch* (B). (in Miletic, 2018)

Como mostrado na Figura 1., os estudos no microscópio (utilizando MEV ou MET = Microscópio Eletrónico de Transmissão), permitem destacar as diferentes espessuras da camada híbrida de acordo com o sistema adesivo utilizado. Podemos, portanto, ver que a camada híbrida tem uma espessura entre os 5 e 8 μm para os sistemas *etch-and-rinse* ; e menos de 3-4 μm para os sistemas *self-etch*. Outros estudos no microscópio mostraram uma separação de fases entre os monómeros hidrofílicos e hidrofóbicos, geralmente HEMA e BisGMA, dentro da própria camada híbrida, demonstrando assim a capacidade destes monómeros para penetrarem eficazmente na dentina. (Miletic, 2018). A actual tecnologia adesiva tende a simplificar os procedimentos da adesão, reduzindo as etapas de aplicação, o tempo de aplicação clínica e as técnicas sensíveis. (Marchesi *et al*, 2014).

1.1.2.1. Self-etch

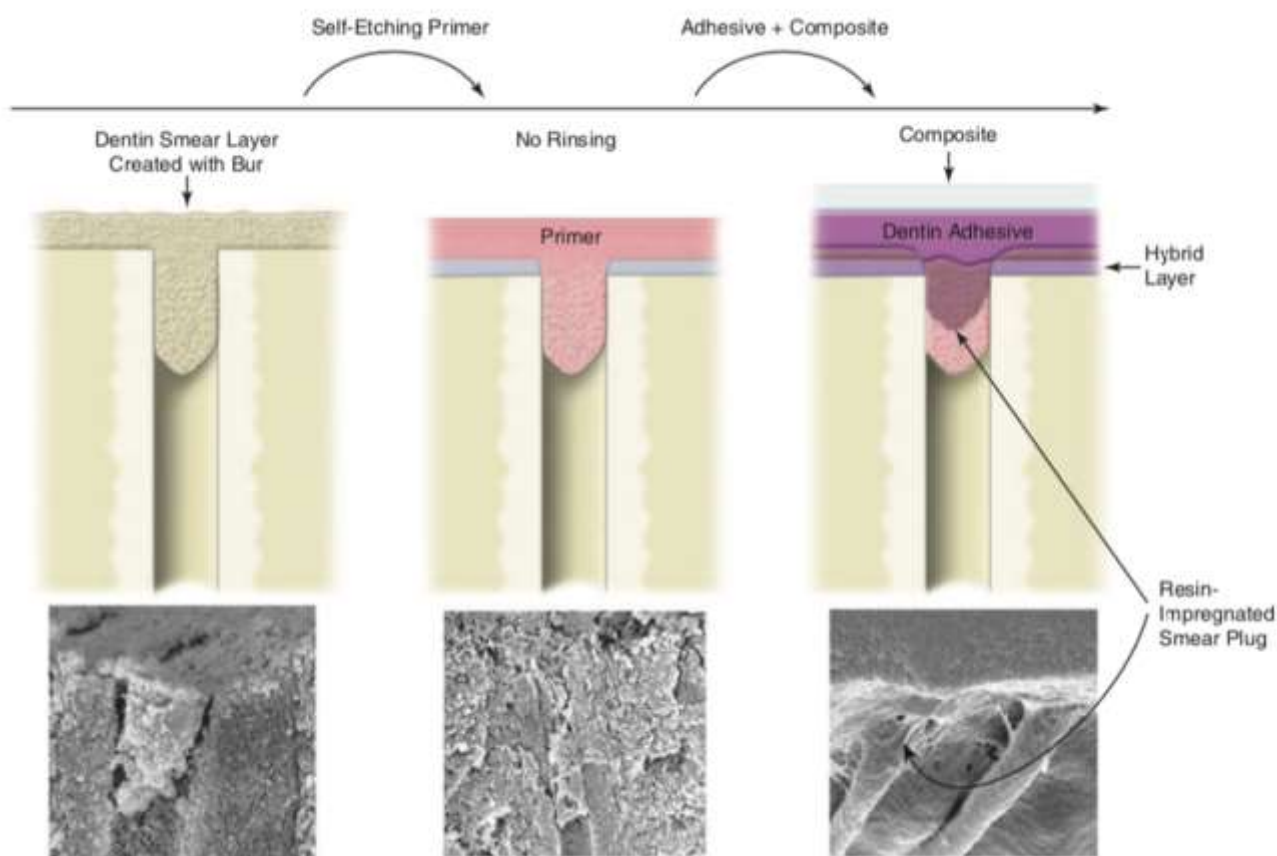


Figura 2. As diferentes etapas durante um tratamento self-etch, esquematizado e visto com um microscópio electrónico de varrimento. (in Ritter *et al*, 2019).

Os sistemas adesivos *self-etch* (ou *etch-and-dry*) simplificaram o conceito tradicional da adesão, são fáceis de utilização e têm um processo de aplicação rápido em comparação com os sistemas *etch-and-rinse*. De facto, este sistema não requer qualquer etapa adicional de condicionamento, o que é possível através da utilização de um primário ácido que contém monómeros de resina ácidos que actuarão simultaneamente como *primer* e condicionamento (Figura 2). Assim, o tratamento foi simplificado através da redução do número de etapas. Embora os adesivos *self-etch* se baseiem no mesmo mecanismo de ligação, diferem uns dos

outros em vários aspectos : a composição do monómero de resina ácida, o teor de água e a acidez. Poder-se-ia, portanto, classificar estes adesivos entre si, comparando os seus pH : suave ($\text{pH} > 2$) (ou mesmo ultra-suave além de 2,5), moderado ($1 < \text{pH} < 2$) ou forte (< 1). Estes diferentes valores de pH determinarão o grau de penetração do sistema na camada de *smear layer*. Assim, um sistema ultra-suave terá uma interface de apenas cem nanómetros de profundidade (por vezes denominada nano-interacção), apesar de ser da ordem de um micrómetro de profundidade com uma abordagem fortemente ácida. Uma das grandes vantagens deste sistema é a redução clínica da má manipulação iatrogénica durante o condicionamento ácido, a lavagem e a secagem. Um benefício clínico importante deste sistema adesivo é a ausência, ou redução, da incidência de sensibilidade pós-operatória. (Degrange & Pourreynon, 2010 ; Van Meerbeek *et al*, 2011 ; Anusavice, 2013 ; Marchesi *et al*, 2014 ; da Rosa *et al*, 2015).

Os adesivos *self-etch* contêm todos (com algumas excepções) uma solução aquosa de monómeros funcionais (ácido fosfórico e/ou éster de ácido carboxílico). A água é essencial para activar o potencial de ionização destes monómeros funcionais ácidos. Os monómeros ácidos desmineralizam e infiltram-se simultaneamente no esmalte e na dentina. A *smear layer* não é, portanto, removida, mas sim infiltrada. Após a polimerização, os constituintes orgânicos da *smear layer* dentinária são impregnados pela resina do adesivo, bem como pelas fibras de colagénio da superfície do dente tratado. Como o pH destes monómeros se situa na faixa de 0,8-2,5, a camada híbrida é fina (geralmente inferior a 2 mm). (Degrange & Pourreynon, 2010 ; Van Meerbeek *et al*, 2011 ; Sezinando, 2014).

Tal como acima referido, é possível distinguir duas famílias diferentes neste sistema, em função do número de etapas necessárias para a sua implementação. Por conseguinte, podem consistir em duas, ou em apenas numa etapa, consoante o *primer* e a resina adesiva estejam presentes separadamente ou estejam na mesma solução. (Van Meerbeek *et al*, 2011).

- Sistemas adesivos *self-etch* de duas etapas :

Para estes sistemas é aplicado um *primer* ácido (*self-etching primer*) numa primeira fase, sem lavagem. Existem duas variedades deste tipo de adesivos, os chamados *self-etch* "fortes" e "suaves". O *self-etch* forte tem um pH baixo (<1), enquanto a segunda variedade tem um pH de 2, dissolve apenas parcialmente a superfície dentária, o que deixa uma parte residual de hidroxiapatite presente no interior da camada híbrida. A hidroxiapatite restante interage com os monómeros através de grupos carboxilo ou fosfato, aumentando a adesão (em comparação com um sistema *etch-and-rinse*, por exemplo). Em geral, estes sistemas desmineralizam e infiltram-se simultaneamente no tecido dentário calcificado. Após evaporação do solvente, por secagem, são revestidos com uma resina adesiva, que contém com frequência cargas, da qual a maioria dos componentes são hidrofóbicos (Degrange & Pourreynon, 2010 ; Anusavice, 2013 ; Ozer & Blatz, 2013 ; Sezinando, 2014).

- Sistemas adesivos *self-etch* de um passo :

Este é o método simplificado que combina o ácido, o *primer* e o *bond* num só produto. Isto também é conhecido como *all-in-one*. Esta simplificação extrema destinava-se a limitar os erros práticos. É possível incorporar cargas (microfillers de vidro, nanopartículas) para melhorar a distribuição das tensões/forças. (Degrange & Pourreynon, 2010 ; Ozer & Blast, 2013 ; Sezinando, 2014 ; da Rosa, 2015). É uma técnica atractiva para os clínicos, devido ao número reduzido e menos complexo de passos clínicos em comparação, por exemplo, com os sistemas *etch-and-rinse*. Não há necessidade de lavar o adesivo. (Anusavice, 2013). De facto, estes sistemas são compostos por monómero ácido, tornando desnecessária a etapa de condicionamento. (Van Meerbeek *et al*, 2011 ; Phaneuf *et al*, 2019).

Pode ser observado uma diminuição imediata da força adesiva é geralmente relatada, em comparação com os sistemas de múltiplas etapas. (Van Meerbeek *et al*, 2011).

1.1.2.2. Etch-and-rinse

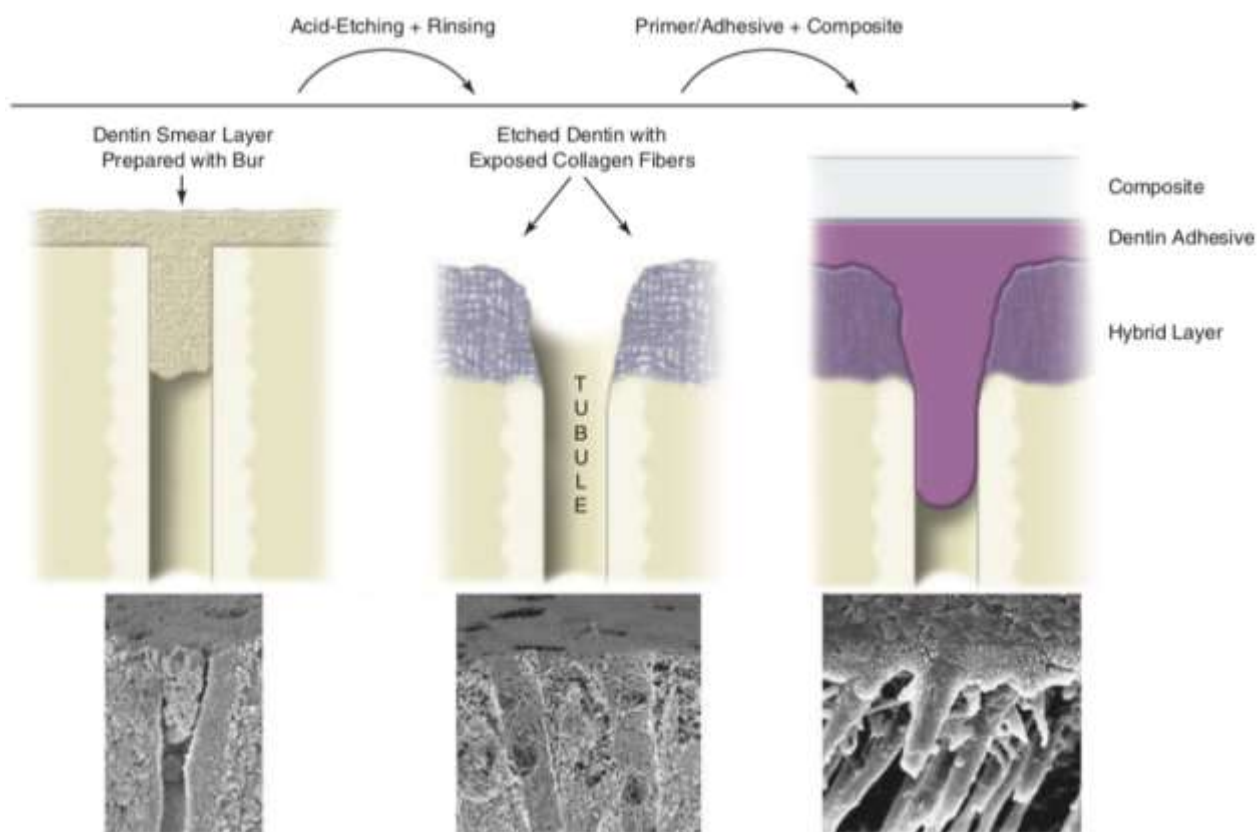


Figura 3. As diferentes etapas durante um tratamento etch-and-rinse, esquematizado e visto com um microscópio electrónico de varrimento. (in Ritter *et al*, 2019)

Estes adesivos utilizam um ácido forte (geralmente ácido fosfórico entre 35 e 37% com um pH de 0,9) para condicionar a superfície, seguido de uma lavagem com água para remover o ácido e a *smear layer* dentinário. A camada híbrida formada por estes sistemas consiste geralmente em fibras de colagénio incrustadas em dentina desmineralizada infiltrada e encapsulada por monómeros de resina.(Figura 3) (Hilton, 2013 ; Miletic, 2018).

- Sistemas adesivos com condicionamento prévio em três etapas (E&R3) :

Estes adesivos requerem três fases de processamento : condicionamento com uma solução ou gel, geralmente ácido fosfórico, seguido de lavagem, que removerá a *smear layer* presente na superfície ; Seguidamente, a aplicação de um primário contendo água, monómeros hidrofílicos (frequentemente hidroxietilmetacrilato = HEMA) e solventes orgânicos (álcool/acetona/água), que permitirão a permeabilidade da dentina desmineralizada após evaporação da água que contém, a superfície apresentará então um carácter hidrofóbico favorável à penetração da resina ; e, por último, a aplicação da resina adesiva, ou agente de ligação geralmente sem cargas, contendo principalmente monómeros hidrofóbicos : Bis-GMA, TEDGMA ou UDMA, ou hidrofílicos como o HEMA. (Söderholm, 2007 ; Degrange & Pourreynon, 2010 ; Anusavice, 2013 ; Ozer & Blatz, 2013 ; Sezinando, 2014).

- Sistemas adesivos com condicionamento prévio em duas etapas (E&R2) :

A simplificação destes sistemas consistiu em combinar no mesmo frasco os elementos do *primer* e os da resina adesiva (*bond*), ou seja, monómeros hidrofílicos, monómeros hidrofóbicos, solventes, por vezes cargas e iniciadores de polimerização. Isto reduz o número de fases para duas, eliminando a fase intermédia de aplicação do *primer*. (Degrange & Pourreynon, 2010 ; Ozer & Blatz, 2013 ; Sezinando, 2014). O primeiro passo é condicionar o esmalte com um ácido, geralmente um gel fosfórico a 30-40%, que vai provocar a dissolução do esmalte exposto, criando porosidades que são preenchidas pelo *bond* por acção capilar.

O condicionamento dentinário é menos previsível, devido às suas características orgânicas. No caso da dentina, o ácido irá expor a rede de colagénio, que pode colapsar sob o efeito de uma secagem excessiva (por exemplo), ocultando as microporosidades recém-estabelecidas e reduzindo assim o número de *resins-tags*, o que acaba por ter um impacto na retenção micromecânica de uma restauração. (Pashley, 2002 ; Anusavice, 2013 ; Sezinando, 2014).

1.1.2.3. Universal

Mais recentemente foram introduzidos novos sistemas, para procedimentos de *total-etch* (Scotchbond Universal Adhesive, 3M ESPE, St. Paul MN). (Anusavice, 2013). Estes sistemas não devem ser confundidos com sistemas *self-etch*, os chamados "*all-in-one*", embora tenham a mesma composição química, pois têm muito mais indicações do que estes últimos, utilizando apenas um frasco de solução : são sistemas versáteis e flexíveis : dependendo da situação clínica, podem ser utilizados como E&R ou SE. (Miletic, 2018). São compatíveis com resinas fotopolimerizáveis ou autopolimerizáveis (quimopolimerizáveis) e resinas fluidas de dupla polimerização. Faltam estudos clínicos, mas estes continuam a ser menos sensíveis à técnica do utilizador. (Sezinando, 2014). No entanto, embora estes sistemas representem a tentativa dos fabricantes de desenvolver um produto versátil na sua concepção, na realidade não representam a melhor eficácia em todas as situações clínicas (Anusavice, 2013). De facto, o mecanismo de adesão dos sistemas adesivos universais varia muito em função do modo de aplicação do mesmo adesivo. Os sistemas universais utilizados no modo *etch-and-rinse* permitem uma melhor resistência adesiva ao esmalte resultando numa melhor aderência do que no modo *self-etch*, mas não há diferença entre os dois modos na resistência adesiva à dentina. (Yamauchi *et al*, 2019).

1.1.3. Adesao Resina Composta - Resina Composta : camada inibida de oxigénio

A importância da *oxygen inhibited layer* (camada inibida pelo oxigénio) no fenómeno da adesão entre duas camadas de resinas é um tema amplamente discutido na literatura, com opiniões divergentes. Para alguns autores, de maneira geral, a adesão entre duas camadas de resina composta seria permitida pela presença de uma camada superficial privada de oxigénio de resina não polimerizada, também chamada : camada inibida pelo oxigénio. De facto, o oxigénio presente na atmosfera ambiente pode inibir as reacções de adição de polimerização iniciadas pelos radicais livres. Esta camada permanece não curada porque a presença de oxigénio inibe, portanto, a polimerização completa do compósito. (Tezvergil *et al*, 2003 ; Papacchini *et al*, 2007 ; Mutlu Özcan & Mese, 2009). A inibição por oxigénio resulta do

esgotamento dos radicais livres gerados pela activação da luz do fotoiniciador, limitando assim a conclusão da primeira fase de polimerização. (ver capítulo 2.3.2.) (Endruweit *et al*, 2006 ; Papacchini *et al*, 2007). Como os radicais formados na presença de oxigénio são mais estáveis e menos reactivos do que os radicais livres em condições anaeróbias, a superfície permanece pegajosa e sub-polimerizada. (Papacchini *et al*, 2007 ; Ghivari *et al*, 2010).

O papel desta camada na adesão das resinas compósitas continua a ser controverso ; alguns estudos demonstraram que a presença de uma camada superficial desprovida de oxigénio é crucial para melhorar a resistência adesiva entre duas camadas compostas, porque, ao deixar grupos com fotopolimerização incompleta na superfície do compósito, estas poderão formar ligações covalentes através da interpenetração da nova rede da camada do compósito recentemente adicionado. (Papacchini *et al*, 2007).

Mas outros autores também relataram que esta camada sub-polimerizada e ainda dúctil não traz qualquer alteração significativa na resistência adesiva. A resina presente na camada privada de oxigénio tem a mesma composição que a resina não polimerizada, com excepção do sistema fotoiniciador (geralmente a canforoquinona e uma amina terciária) que foi decomposta ou consumida (Ghivari *et al*, 2010). O consumo local de fotoiniciadores na superfície do substrato seria responsável por uma adesão imperfeita com a camada superior de resina após a polimerização. Papacchini *et al*, (2007) também demonstrou no seu estudo que a presença de uma camada superficial inibida pelo oxigénio não é necessária na adesão de camadas de resina adicionais, pelo menos num período de 24 horas. Esta segunda teoria, que é que a aderência através de uma camada superficial inibida pelo oxigénio não é necessária para uma aderência adequada às resinas compostas, é a teoria aceite hoje em dia. (Phaneuf *et al*, 2019).

40-50% dos grupos metacrilato não reactivos são presentes após a fotopolimerização dos compósitos que permitem a aderência de novas camadas de resina. A presença de grupos de metacrilato não reactivos diminui com o tempo, diminuindo assim o potencial de ligações das resinas. Vários estudos demonstraram que a resistência adesiva entre duas resinas compostas pode atingir entre 20 e 80% da resistência adesiva inicial, dependendo da

resistência coesiva do material. Ao contrário da reparação de compósitos imediatamente polimerizados, a reparação de compósitos mais antigos representa um desafio devido à falta de radicais livres nos compósitos antigos após a polimerização inicial. (Mutlu Özcan & Mese, 2009 ; M. Özcan & Koc-Dundar, 2014).

O sucesso da adesão do compósito ao compósito depende, portanto, muito do tratamento de superfície no caso de uma resina composta envelhecida. A ligação entre uma resina composta antiga e uma nova pode ser obtida através de três mecanismos : ligação química com a matriz orgânica ; ligação química com partículas de enchimento expostas ; e retenção micromecânica da superfície tratada. (Tezvergil *et al*, 2003 ; Visuttiwattanakorn *et al*, 2017). Esta parte vai ser tratada no capítulo 1.3.

1.2 Resina composta

1.2.1. Composição

As resinas compostas são materiais amplamente utilizados na restauração dentária, são utilizadas para restaurar e substituir tecidos dentários perdidos por causa de traumatismos e para aderir e cimentar coroas, facetas e outras restaurações indirectas. Uma das suas grandes vantagens é que imitam o aspecto natural do tecido dentário. (Anusavice, 2013 ; Hutmacher, 2015). Como o seu nome sugere, trata-se de um material composto, o que significa que, numa escala macroscópica, é uma combinação de dois ou mais materiais. Trata-se, portanto, de um material multifásico fabricado artificialmente, em que as bases constituintes são quimicamente diferentes e separadas por interfaces distintas. (Fernandes, 2009 ; Hutmacher, 2015 ; Miletic, 2018 ; Sakaguchi *et al*, 2018). O objectivo de um material multifásico é combinar sinergicamente as vantagens presentes em cada um dos componentes e, assim, melhorar as propriedades do material. (Hutmacher, 2015 ; Sakaguchi *et al*, 2018). Foram desenvolvidos pela primeira vez no final da década 60 e permitiram a obtenção de materiais com propriedades mecânicas superiores aos acrílicos e silicatos, com um menor coeficiente

de expansão térmica, menor alteração dimensional durante a polimerização e uma maior resistência ao desgaste, melhorando assim o desempenho clínico. (Sakaguchi *et al*, 2018).

As resinas compostas são estruturas compostas por três elementos principais : uma matriz polimérica reticulada, geralmente composta por monómeros de dimetacrilato de elevado peso molecular ; reforçada por uma dispersão de vidro, minerais ou partículas de enchimento de resina e/ou fibras curtas ligadas à matriz por silano. Além disso, os compósitos contêm uma série de outros componentes, tais como um sistema activador/iniciador que permitirá converter a resina de uma forma dúctil e maleável para uma forma sólida ; mas também pigmentos que permitem que a resina se aproxime o mais possível da coloração do tecido dentário. (Anusavice, 2013 ; Hutmacher, 2015 ; Miletic, 2018 ; Sakaguchi *et al*, 2018).

1.2.1.1. Matriz Orgânica

A matriz orgânica das resinas compostas é normalmente composta por monómeros reactivos. Alguns proporcionam rigidez ou reduzem a contracção após a polimerização, enquanto outros, menos viscosos, são utilizados como diluentes para acomodar elevadas cargas de partículas e propriedades de manuseamento mais adequadas. Estes monómeros devem ter grupos funcionais na sua composição que permitam uma polimerização rápida num ambiente rico em oxigénio. Estes monómeros são dimetacrilatos alifáticos ou aromáticos, os componentes mais utilizados são o Bis-GMA e o dimetacrilato de uretano (UDMA). Ambos são compostos de elevado peso molecular contendo ligações duplas de carbono reactivo em cada extremidade, permitindo a polimerização de adição iniciada por iniciadores de radicais livres (ver capítulo 2.3.2.). A utilização de grupos aromáticos proporciona melhores propriedades ópticas globais. Embora estes monómeros possam fornecer propriedades ópticas, mecânicas e clínicas ideais, são bastante viscosos e devem ser misturados com monómeros diluentes de baixo peso molecular, como o TEGDMA, para que seja possível obter uma consistência clinicamente utilizável. (Fernandes, 2009 ; Anusavice, 2013 ; Miletic, 2018 ; Sakaguchi *et al*, 2018).

1.2.1.2. Matriz Inorgânica

A matriz inorgânica (ou carga) constitui uma parte significativa do volume ou peso total do compósito. A função desta fase é reforçar a matriz de resina, fornecer o grau adequado de translucidez e controlar a contracção do volume do compósito durante a polimerização. Isto irá aumentar as propriedades mecânicas e físicas que determinam o desempenho clínico e a durabilidade do material ; reduzir a contracção de polimerização com um aumento da taxa de enchimento ; reduzir a expansão e contracção térmica, variando, da mesma forma que para a contracção de polimerização, o volume de partículas inorgânicas ; controlar a operacionalidade/viscosidade ; diminuir a sorção da água ; tornar o material radio-opaco. Os componentes desta matriz, são óxidos inorgânicos e vidros, podem ser descritos pelo seu tipo (composição do vidro), morfologia (tamanho e distribuição da forma), densidade, radiopacidade, índice de refacção e porosidade superficial. São tradicionalmente utilizados vários materiais, tais como partículas de sílica coloidal, vidro de bário, estrôncio, fluoreto de itérbio, entre outros. (Fernandes, 2009 ; Anusavice, 2013 ; Miletic, 2018 ; Sakaguchi *et al*, 2018).

Estas partículas são, portanto, responsáveis pela maioria das propriedades mecânicas destes materiais, de facto a quantidade e a dimensão das partículas têm uma influência directa no módulo de elasticidade, na dureza e na rugosidade da superfície em particular. A adição de partículas de sílica coloidal contribui para reduzir a viscosidade da preparação, enquanto que o silicato de zircónio e o bário actuam como agentes radio-opacos, permitindo assim a visualização radiográfica da restauração. (Fernandes, 2009).

A maioria das propriedades são melhoradas através do aumento da taxa de partículas na preparação. Uma distribuição granulométrica é utilizada para maximizar o enchimento. Se a dimensão das partículas for uniforme, independentemente da forma como as partículas são compactadas, subsistem lacunas. A compactação teoricamente máxima para estruturas esféricas de tamanho uniforme é de aproximadamente 74% de volume. Por conseguinte, é vantajoso ter uma distribuição do diâmetro da carga de modo a que as partículas mais pequenas se insiram nos espaços entre as partículas maiores e proporcionem uma

compactação mais eficiente. Com isto em mente, foram recentemente introduzidos *nanofillers* em compósitos. (Anusavice, 2013 ; Sakaguchi *et al*, 2018).

1.2.1.3. Agente de União

O desempenho mecânico dos compósitos de resina dentária depende em grande parte da interação entre as partículas de carga e a matriz de resina. Quando são solicitadas, as fases de um compósito partilham as forças aplicadas em diferentes extensões, em função das suas propriedades mecânicas intrínsecas. A distribuição e a transferência de tensões entre as fases são cruciais para o desempenho dos compósitos resinosos. Nos compósitos dentários, a diferença de módulo elástico entre as cargas e a resina indica que, sob uma tensão distribuída homogeneamente, a matriz se deformará numa maior medida. Isto pode comprometer a coesão da resina composta, criar vazios e/ou acelerar a deterioração do material. Para promover a interacção entre as fases inorgânica e orgânica, as partículas de carga são silanizadas para melhorar a molhabilidade das partículas e a ligação química à matriz. A silanização aumenta a resistência global de um compósito de resina em cerca de 50%. Os silanos são chamados agentes de ligação porque permitem uma união crucial entre as cargas e a matriz orgânica. Uma das extremidades da molécula de silano contém grupos funcionais (como o metoxi), que hidrolisam e reagem com o enchimento inorgânico, enquanto a outra extremidade tem uma dupla ligação de metacrilato que copolimeriza com os monómeros. (Fernandes, 2009 ; Miletic, 2018 ; Sakaguchi *et al*, 2018).

1.2.1.4 Iniciadores

Para além do resto dos componentes, existem também iniciadores espontâneos de polimerização. A fotopolimerização de compósitos de resinas dentárias requer a utilização de uma molécula ou de um sistema capaz de induzir uma polimerização óptima sobre uma profundidade significativa (vários milímetros) de material pigmentado, com tempos de irradiação clinicamente compatíveis (≈ 20 s). A activação da luz é realizada com uma luz azul num comprimento de onda de cerca de 465 nm, normalmente absorvida por um fotossensibilizador, na maioria das vezes a canforoquinona (CQ). São agentes que, uma vez activados, desencadeiam a reacção de polimerização dos monómeros. Esta reacção é catalisada pela presença de uma amina orgânica. Podem ser utilizadas várias aminas,

aromáticas e alifáticas, por exemplo. (Fernandes, 2009 ; Anusavice, 2013 ; Miletic, 2018 ; Sakaguchi *et al*, 2018).

1.2.2. Reacção de fotopolimerização

A reacção de polimerização é uma reacção química através da qual os monómeros se juntam estabelecendo ligações covalentes, formando assim um polímero de cadeias entrelaçadas. Os polímeros são formados por um grande número de pequenas moléculas monoméricas, ligadas entre si, formando macromoléculas. A polimerização pode ser ativada quimicamente (chamada resina autopolimerizável), ou pode ser ativada pela luz, seja ultravioleta ou halógena, por exemplo, é permitida graças aos iniciadores contidos na sua composição (chamada resina fotopolimerizável). As resinas fotopolimerizáveis são as que apresentam o melhor comportamento como material restaurador. A fim de produzir uma reacção de polimerização, é necessário que o iniciador produza os primeiros radicais livres. (Fernandes, 2009 ; Miletic, 2018). A polimerização por radicais livres é o processo químico mais comum na fotopolimerização e pode ser dividida em três fases : iniciação, propagação e terminação. (Endruweit *et al*, 2006).

Na fase de iniciação, o fotoiniciador inicia a reacção convertendo a energia da luz UV em energia química para produzir radicais livres. Assim, os iniciadores da activação fotoquímica que conduz ao fenómeno de fotopolimerização, recebem da fonte luminosa a energia transportada pelos fotões da luz, que irá gerar a produção de radicais livres, desencadeando assim a reacção. (Endruweit *et al*, 2006 ; Fernandes, 2009).

O início da activação química é possível graças à presença de moléculas capazes de produzir radicais livres. Os activadores químicos podem ser peróxidos ou compostos de azoto. É comum encontrar uma associação entre um peróxido instável e uma amina terciária. O fotoiniciador mais utilizado é a canforoquinona, que pertence ao grupo das diacetonas. Pode ser activada com um espectro de comprimento de onda entre 400 e 500 nm, sendo o seu pico de absorção máximo de cerca de 410 nm. (Fernandes, 2009).

Durante a fase de propagação, os radicais livres ligam-se aos monómeros por adição, permitindo o rápido crescimento do polímero. Quando esta reacção de adição termina, entramos então na última fase, a fase de terminação ; que pode ocorrer de duas formas : ou por combinação entre duas cadeias que crescem pela suas extremidades radicais = por adição ; ou por saturação da extremidade radical por H^+ , levando à transferência de um átomo de uma cadeia para a outra = por desproporcionamento. (Endruweit *et al*, 2006).

Paralelamente à reacção de polimerização, ocorre um outro fenómeno, a contracção da polimerização, observa-se uma contracção volumétrica durante o processo de polimerização, que diminui à medida que a massa molar do monómero aumenta. (Fernandes, 2009). Os compósitos dentários contraem entre 0,9 e 3,5% do seus volume inicial. (Hutmacher, 2015). é por isso que os dimetacrilatos de alto peso molecular como o Bis-GMA, Bis-EMA e UDMA apresentam apenas uma contracção volumétrica de 5-6% (Fernandes, 2009). Assim, os monómeros diluentes de baixo peso molecular têm uma contracção de polimerização significativamente maior, por exemplo, o TEGDMA apresenta uma contracção de cerca de 14,5%, quase o dobro do volume do Bis-GMA. A reacção de contracção volumétrica está também relacionada com a viscosidade dos componentes : assim, uma diminuição da viscosidade da matriz monomérica permite um aumento da percentagem de carga, o que acaba por reduzir a contracção na polimerização. (Fernandes, 2009).

Seria ideal se todos os monómeros de resina composta fossem convertidos em polímero durante a reacção de polimerização. No entanto, a conversão nunca está completa e atinge um grau de cerca de 50% a 75% para os compósitos convencionais. Este fenómeno é denominado “grau de conversão”, que pode ser definido como a reacção de formação de polímeros ou, como a conversão de ligações duplas $C = C$ em ligações simples $C - C$. Um elevado grau de polimerização de uma resina composta é uma das características essenciais do material para alcançar as melhores propriedades físicas, mecânicas e biocompatibilidade. Isto acaba por ter um impacto crucial no sucesso de uma restauração de resina composta. Este grau de conversão afecta fortemente todas as propriedades do material composto, tais como dureza, resistência, módulo de elasticidade, sorção da água, solubilidade, estabilidade da cor e estabilidade dimensional. (Miletic, 2018).

1.2.3. Classificação das resinas compostas

Os compósitos foram classificados de diferentes formas para tentar ter em conta a diversidade de orientações tomadas pelos fabricantes, nenhum sistema é universalmente adoptado. O sistema habitual de classificação dos compósitos baseia-se na dimensão, forma e distribuição granulométrica das cargas. (Anusavice, 2013 ; Sakaguchi *et al*, 2018).

- Resinas macroparticuladas (*Macrofilled*) : Também conhecidas como resinas tradicionais ou convencionais. Estes são os primeiros compósitos a serem desenvolvidos. Contêm grandes partículas esféricas ou de forma irregular com um diâmetro médio das cargas de 20 a 30 μm . As restaurações feitas com este tipo de material eram bastante opacas e tinham baixa resistência ao desgaste. São restaurações pouco atractivas porque são difíceis de polir, devido ao grande tamanho das partículas, e não conseguem manter a superfície do compósito suave. Os compósitos *microfilled* foram posteriormente desenvolvidos com o objectivo de melhorar as características deste compósito. (Ferracane, 2011 ; Melo *et al*, 2011 ; Sakaguchi *et al*, 2018).
- Resinas microparticuladas (*Microfilled*) : Estes compósitos são recomendados para restaurações de baixo stress, tais como restaurações de classe 3 e classe 5, onde o polimento e a estética são importantes. São compósitos compostos por partículas de sílica coloidal inorgânica com um diâmetro entre 0,01 e 0,1 μm . Uma vez que são compósitos com menos cargas, têm propriedades físicas e mecânicas inferiores às das resinas compostas tradicionais, por exemplo, têm maior uma sorção da água e expansão térmica do que os compósitos micro-híbridos ou os nanocompósitos. (Melo *et al*, 2011 ; Anusavice, 2013 ; Sakaguchi *et al*, 2018).
- Resinas híbridas : Como o nome indica, é um material com partículas de tamanhos diferentes. Nestes compósitos, são misturados dois tipos de cargas : partículas finas de dimensão média de 2 a 4 μm e 5% a 15% de partículas, normalmente sílica, de dimensão 0,04 a 0,2 μm . Por ser uma mistura de micropartículas e macropartículas,

este tipo de resina composta tem as características dos dois tipos de materiais. A distribuição das partículas inorgânicas proporciona um enchimento eficiente, de modo a que seja possível um elevado número de cargas, mantendo ao mesmo tempo um bom manuseamento do compósito para colocação clínica. (Melo *et al*, 2011 ; Anusavice, 2013 ; Sakaguchi *et al*, 2018). Nestes compósitos híbridos encontramos a categoria de compósitos micro-híbridos em que, partículas finas com uma granulometria média de 0,04 a 1 μm são misturadas com sílica. Os compósitos micro-híbridos podem conter até 60% a 70% de carga do volume total, o que, dependendo da densidade da carga, se traduz em 77% a 84% em peso no compósito. Estes compósitos híbridos têm uma boa resistência ao desgaste e boas propriedades mecânicas adequadas para aplicações de tensão/força. No entanto, com o tempo e tornam-se ásperas e sem brilho. Fazendo deste tipo de material uma resina indicada para restaurações anteriores e posteriores. (Melo *et al*, 2011 ; Sakaguchi *et al*, 2018).

- Nanocompósitos : Mais recentemente, com a evolução das nanotecnologias, foram introduzidos nanocompósitos. A nanotecnologia é a produção de materiais e estruturas funcionais que vão de 0,1 a 100 nm, por vários métodos físicos e químicos. A nanotecnologia requer dispositivos e sistemas para criar estruturas que tenham novas propriedades e funções devido à sua pequena dimensão. Implica, portanto, a capacidade de controlar e manipular estruturas à escala atômica e/ou molecular. Até à data, as nanopartículas de óxido são os tipos mais comuns utilizados em compósitos dentários. Actualmente, existem dois tipos diferentes de compósitos contendo nanopartículas : os compósitos *nanofills* (ou nanoparticulados) e nanohíbridos. (Melo *et al*, 2011 ; Sakaguchi *et al*, 2018).
 - *Nanofills* : contendo partículas nanométricas (1 a 100 nm). Como a dimensão das partículas é menor que a da luz visível (400 a 800 nm), isto oferece a possibilidade de criar materiais altamente translúcidos e esteticamente agradáveis. Existem dois tipos de nanopartículas sintetizadas e utilizadas na composição destes compósitos. O primeiro tipo é constituído por partículas nanométricas, essencialmente não agregadas e monodispersivas (ou seja, partículas com dimensões iguais ou muito

próximas umas das outras) e por partículas não agregadas de sílica ou zircônio. O segundo chama-se *nanocluster*. Formará aglomerados com uma distribuição granulométrica controlada, variando entre 5 e 75 nm. A grande vantagem do compósito *nanofills* é que tem a resistência mecânica de um micro-híbrido mas ao mesmo tempo mantém uma superfície uniforme como uma resina microparticulada. A restauração perde seu brilho com o tempo, uma vez que a incorporação de cargas maiores leva a uma perda de brilho ao longo do tempo. Em contraste, no compósito nanocargado, os *nanoclusters* vão se quebrar a um ritmo semelhante ao da matriz circundante durante a abrasão. Isto permite que a restauração mantenha uma superfície mais harmoniosa a longo prazo. (Sakaguchi *et al*, 2018).

- *Nanohíbridos* : consistem em partículas maiores (0,4 a 5 μm) com adição de partículas de tamanho nanométrico. São, portanto, materiais híbridos, mas não são verdadeiros compósitos nanocargados. Como este composto tem partículas de enchimento maiores, como acontece com os micro-híbridos, a superfície dos nanohíbridos torna-se progressivamente baça após alguns anos. (Sakaguchi *et al*, 2018).

Os compósitos também podem ser classificados de acordo com as características de manuseamento :

- *Flowable* : desenvolvido para ser introduzido em espaços restritos, a fim de melhorar a adaptação da restauração. Têm normalmente uma viscosidade baixa, que pode ser alcançada através da redução da quantidade de carga no compósito ou da adição de agentes modificadores, tais como um tensioactivo. (Ferracane, 2011).
- Compósito *Packable* : desenvolvido para promover a resistência a um condensador de amálgama, a fim de evitar o colapso e melhorar a formação do ponto de contacto interproximal. A consistência densa deste tipo de compósito é obtida pela modificação da dimensão das partículas de enchimento, bem como da sua distribuição, ou pela adição de outros tipos de partículas, como as fibras. (Ferracane, 2011)

1.3. Resistência Adesiva de Resina composta a Resina composta

1.3.1. Resistência adesiva

Com a evolução das técnicas adesivas e dos materiais restauradores, isto permitiu o desenvolvimento da dentisteria minimamente invasiva, incluindo a ideia de reparar restaurações já existentes parcialmente defeituosas e assim criar uma interface adesiva entre duas camadas de resina composta. Esta interface é a chave para o sucesso a longo prazo da restauração, deve garantir um ajuste íntimo entre os dois materiais. Isto pode ser conseguido através de um tratamento de superfície (discutido no capítulo 1.3.2.). (Celik *et al*, 2014).

1.3.2. Tratamento de superfície

Um grande desafio na adesão entre dois compósitos é conseguir uma forte ligação entre dois materiais. A criação de uma forte ligação depende de vários factores, tais como as propriedades de superfície do compósito e o tipo de tratamento de superfície. A rugosidade da superfície e as porosidades mecânicas são necessárias para melhorar a ligação ao novo compósito, uma vez que isso aumentará a energia superficial do material e, consequentemente, a adesão. Estes tratamentos de superfície são necessários porque uma ligação química, estabelecida apenas por duplas ligações, degrada-se ao longo prazo. Estão disponíveis vários métodos para preparar as superfícies dos compósitos e assim influenciar o desempenho da adesão com novos compósitos, tais como o desgaste das superfícies com brocas, o condicionamento ácido com ácido fluorídrico, a abrasão por ar com partículas de óxido de alumínio, a utilização de sistemas adesivos de silano e resina e diferentes *primers*. Estas técnicas promoverão uma boa adesão através do condicionamento da superfície, que pode ser conseguido de forma macro-mecânica, micro-mecânica ou química. (D’Arcangelo & Vanini, 2007 ; Loomans, Cardoso, *et al*, 2011 ; Celik *et al*, 2014 ; Visuttiwattanakorn *et al*, 2017 ; Ghavam *et al*, 2018).

A retenção macro-mecânica pode ser conseguida através da criação de áreas de retenção, ou de desgaste da superfície com uma broca diamantada de grão grosso (Loomans, Cardoso, *et*

al, 2011). A retenção micro-mecânica pode ser criada dissolvendo parcialmente os cristais de vidro presentes na parte inorgânica da resina, quebrando as ligações Si-O em SiO₂, o que é possível com a utilização de ácido fluorídrico (por exemplo). Um método alternativo é o jateamento ou a abrasão com ar, que pode ser efectuado com pó de óxido de alumínio. Os tratamentos químicos também podem ser utilizados para aumentar a força adesiva. Estes tratamentos permitem a criação de microporos para a infiltração de silanos e cimentos resinosos. (Loomans, Cardoso, *et al*, 2011 ; Lung & Matinlinna, 2012).

Além do tratamento mecânico, é também necessário realizar tratamentos químicos através da aplicação de ligantes intermediários, que funcionam por ligação à matriz orgânica e às partículas de cargas expostas, promovendo a retenção micromecânica. (Mohammed Hassan *et al*, 2014).

No entanto, apesar de vários estudos, não se chegou a um consenso sobre o melhor método de condicionamento de superfície aplicável a uma vasta gama de resinas compostas. (D'Arcangelo & Vanini, 2007 ; Loomans, Vivan Cardoso, *et al*, 2011 ; Ghavam *et al*, 2018). Alguns estudos concluíram, através da observação no MEV (microscópio electrónico de varredura) e de medições da resistência adesiva, que o tratamento mais eficaz para aumentar a resistência adesiva no caso da adesão resina composta-resina composta foi a interligação mecânica. Mas outros estudos mostraram que o aumento da rugosidade superficial de um compósito utilizando uma broca diamantada diminuiria a resistência da ligação à tracção como consequência da exposição da matriz do compósito. É por isso que foi sugerida a utilização de uma camada intermédia, quer se trate de um agente adesivo ou da aplicação de um primário de silano (por exemplo), a fim de aumentar a ligação química, independentemente da textura anteriormente conseguida na superfície do compósito. (Papacchini *et al*, 2007). Mais recentemente, com o advento do uso de lasers na dentisteria, sugere-se o uso de lasers de érbio (Er,Cr:YSGG) como um método de preparação de superfície. São também utilizados para a preparação de cavidades e remoção de cáries. Foi relatado que as superfícies tratadas com lasers têm uma superfície rugosa com porosidades de superfície que melhoram a retenção de materiais restauradores em resina. (Ghavam *et al*, 2018).

1.3.2.1. Condicionamento ácido

A utilização só do condicionamento ácido como tratamento de superfície não parece suficiente para promover uma adesão adequada entre duas resinas compostas. No seu estudo, Papacchini *et al*, 2007, concluiu que os procedimentos de condicionamento ácido não produzem alterações morfológicas suficientes na matriz da resina composta para promover um aumento significativo da resistência adesiva, no caso da utilização de ácido fosfórico à 37%. (Papacchini *et al*, 2007). No seu estudo, Celik *et al*, 2014 referiu que a acidificação apenas exerceria um efeito de limpeza da superfície que eliminaria os detritos e as poeiras finas produzidos pela abrasão da superfície do compósito resinoso e não melhoraria significativamente a sua resistência adesiva.

No entanto, a utilização de ácido fosfórico a 37% como agente de *etching* permitiria uma abordagem mais agressiva sobre a superfície de uma resina composta em comparação com uma abordagem com ácido fluorídrico. O ácido fosfórico dissolveria as partículas de vidro presentes na fase inorgânica da resina composta e, por conseguinte, deixaria microporosidades permitindo uma retenção micromecânica. O ácido fluorídrico seria incapaz de dissolver completamente as partículas de vidro presentes na superfície, reduzindo assim a sua capacidade de aumentar as forças adesivas. (Papacchini *et al*, 2007)

1.3.2.1. Brocas diamantadas

A adesão em dentisteria permitiu ter em conta um novo parâmetro que tenha ignorado durante tanto tempo : o método de desgaste. De facto, pode afectar as propriedades de superfície das preparações e, consequentemente, a força adesiva e a longevidade. Um tratamento de cárie não é apenas a remoção do tecido cariado, mas também a remoção utilizando um método de escavação que permita a criação de um substrato favorável à adesão. (Comba *et al*, 2019).

Devido à capacidade reduzida de produzir reacções químicas durante a adesão entre uma superfície já polimerizada e um novo compósito, é necessário um tratamento mecânico da superfície para produzir zonas de macro e micro-retenções, aumentando assim a exposição da matriz de resina e das partículas inorgânicas de enchimento. (de Medeiros *et al*, 2019).

As teorias de adesão mecânica baseiam-se no facto que os adesivos podem criar interligações micro-mecânica com as irregularidades no substrato dentário. (Comba *et al*, 2019). É interessante notar que os compósitos de resina idênticos produziram valores mais elevados de forças de adesão quando o local de reparação foi desgastado com uma broca de diamante, independentemente do sistema adesivo utilizado. (Celik *et al*, 2014).

1.3.2.2. Silicatização

A silicatização é uma variante da clássica abrasão com óxido de alumínio, consiste numa abrasão com estas mesmas partículas mas revestidas com sílica. É um processo geralmente utilizado para a abrasão de cerâmicas, resinas compostas e metais (dos Reis, 2019 ; ESPE, n.d.). Trata-se de partículas de óxido de alumínio que servirão de meio de transporte para a sílica. De facto, ao entrar em contacto com a superfície a tratar, o calor criado na zona de contacto permitirá que a sílica seja integrada no material tratado. Isto irá, portanto, criar uma superfície rugosa e promover assim uma ligação micro-mecânica à resina composta e uma ligação com a sílica e a resina através de um agente de silanização adicionado posteriormente. Este tipo de tratamento permite assim a realização de uma adesão química e a criação de uma retenção micro-mecânica. (Matinlinna *et al*, 2018 ; dos Reis, 2019).

Um método amplamente utilizado é o revestimento tribo-químico da sílica : isto permitirá a criação de uma camada revestida de sílica ancorada à superfície do substrato, de modo a que os agentes de acoplamento de silano possam formar uma ligação duradoura com os materiais não siliciosos através desta camada. Também melhora a retenção micro-mecânica, devido ao aumento da rugosidade superficial. Sistemas que utilizam este método, como por exemplo a areia CoJet utilizada neste estudo. CoJet™ é uma alternativa segura e fiável para o pré-tratamento convencional de cerâmica vítrea como alternativa ao ácido fluorídrico. O sistema de reparação intraoral CoJet™ proporciona uma excelente adesão a metais, cerâmicas e compósitos (Lung & Matinlinna, 2012 ; ESPE, n.d.).

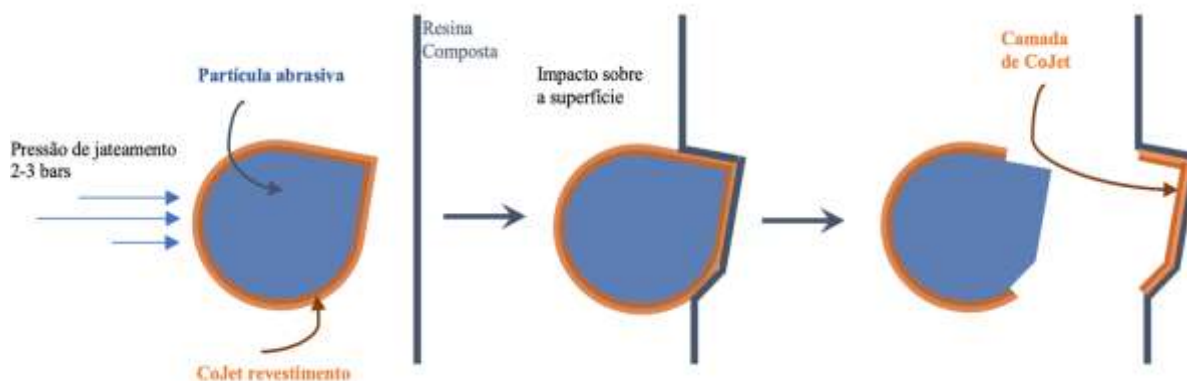


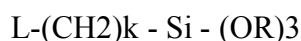
Figura 4. Revestimento tribo-químico com CoJet Sand (Adaptado de ESPE, n.d.)

Estes sistemas utilizam partículas de alumínio revestidas com um revestimento de sílica. Estas partículas são pulverizadas no substrato utilizando um compressor de ar. O impacto das partículas na superfície do substrato resulta numa transferência de energia cinética. A energia absorvida pela superfície do substrato causa a fusão microscopicamente da superfície, aumentando momentaneamente a temperatura da superfície até 1200°C. (Lung & Matinlinna, 2012 ; Matinlinna *et al*, 2018). De facto, quando partículas de óxido de alumínio modificado com sílica, com uma dimensão média de 30 µm, atingem a superfície a silicar com elevada energia, são produzidas temperaturas muito elevadas pela energia de impacto (triboplasma). Durante este processo, os componentes do abrasivo são incorporados na superfície a tratar a uma profundidade de 15 µm. Contudo, uma vez que este efeito se limita às superfícies microscópicas do substrato, não se observa qualquer aumento de temperatura em todo o substrato. (Figura 4). (ESPE, n.d.).

As partículas de alumínio revestidas com sílica penetram e são, portanto, incrustadas na superfície do substrato e deixam a superfície parcialmente coberta de sílica. Isto resulta na criação de uma superfície rugosa coberta com uma camada de sílica. A superfície revestida de sílica é então tratada por silanização. (Lung & Matinlinna, 2012 ; Matinlinna *et al*, 2018)

1.3.2.3. Silanização

O silano utilizado como agente de ligação é considerado como um promotor da adesão capaz de formar ligações químicas com superfícies orgânicas e inorgânicas. Os silanos utilizados na dentisteria contêm trialkoxissilano, como o metacriloxiproyltrimetoxissilano (MPS), que é um componente reactivo chave. É diluído e dissolvido em etanol e água. A concentração de silano pode variar de 1 a 10% em volume. Os silanos são moléculas que contêm dois grupos funcionais nas suas extremidades moleculares, que permitem a ligação de uma matriz de resina não polimerizada a um substrato inorgânico. Os silanos têm geralmente a seguinte fórmula :



Em que :

- L é um grupo organofuncional, por exemplo, metacrilato, acrilato, isocianato, epoxídico. Este grupo irá copolimerizar com o metacrilato do agente de ligação presente na resina.
- $(CH_2)_k$ é um ligante, um espaçador, que constitui a parte media da molécula de silano e, por conseguinte, separa os dois grupos funcionais.
- O $Si (OR)_3$ que é um grupo Silano, ou seja, um átomo de silício (Si) ligado a um grupo hidroxilo. Nesta molécula OR é um alquoxil hidrolisável, por exemplo um grupo metoxi ou etoxilo. O silanol liga-se à sílica presente na matriz inorgânica do compósito, ou à superfície do silicato do substrato. (D’Arcangelo & Vanini, 2007 ; Loomans, Cardoso *et al*, 2011 ; Matinlinna *et al*, 2018 ; dos Reis, 2019 ; ESPE, n.d).

Assim, os silanos melhoram a adesão entre uma resina composta e um substrato à base de sílica, mas não aderem eficazmente a um material sem sílica na sua composição, pelo que, nestes casos, é necessário condicionar a superfície com a adição de uma camada de sílica, especialmente com a técnica de revestimento tribo-químico (fricção + condicionamento ácido) de sílica já referido anteriormente. (Lung & Matinlinna, 2012).

O que é fundamental na aplicação do silano é a formação de uma monocamada funcional de silano sobre a superfície do material a tratar. Para uma aplicação óptima do silano, deve ter-

se o cuidado de remover todos os vestígios de água, álcool e outros solventes para completar a reacção de condensação. A formação de ligações de siloxano (Si-O-Si) através de uma reacção de condensação, que tem como subproduto moléculas de água, permitirá a criação de uma ligação com os grupos hidroxilos presentes na superfície do substrato. (Matinlinna *et al*, 2018 ; dos Reis, 2019). O principal problema com a adesão de resinas compostas a materiais restauradores revestidos de sílica é a degradação da ligação química ao longo do tempo, tanto *in vivo* como *in vitro*. (Lung & Matinlinna, 2012).

Actualmente, o condicionamento de superfícies de materiais dentários associados à silanização é um protocolo standard para restaurações dentárias, reparações de compósitos, cimentação de facetas cerâmicas, etc... No entanto, existem preocupações quanto à estabilidade hidrolítica da ligação de siloxano formada a partir de agentes de ligação de silano com compósitos resinosos e materiais restauradores dentários. (Lung & Matinlinna, 2012 ; Matinlinna *et al*, 2018 ; dos Reis, 2019).

1.3.3 Avaliação da adesão

Para avaliar a resistência adesiva, podem ser utilizados várias metodologias. A resistência da ligação pode ser medida estaticamente utilizando uma configuração de teste MACRO ou MICRO, dependendo principalmente da dimensão da área da interface. Devem ser utilizados testes fáceis de realizar e de reproduzir e, se possível, rápidos. A resistência adesiva entre dois compósitos pode ser avaliada por um ensaio de micro ou macro-tração, por cisalhamento, tração ou *push-out*, consoante a amostra seja de 1 mm² ou menos (micro-tensão), ou 3 mm² ou mais (macro-tensão). Nos últimos anos, embora um número crescente de investigadores tenha adoptado o teste de microtração como o método mais preciso para avaliar a resistência adesiva, mas apenas alguns estudos avaliaram a adesão de resina composta a resina composta. (Van Meerbeek *et al*, 2010 ; dos Reis, 2019).

1.3.3.1. Teste de microtração

O teste de microtração (*Microtensile bond strength* ou μ TBS) foi introduzido em 1994 por Sano *et al.* Desde então, tem sido amplamente utilizado em muitos laboratórios de ensaio de resistência a adesão, tornando-o actualmente um dos mais padronizados e versáteis testes de resistência das ligações disponíveis. É um método bem estabelecido para avaliar o desempenho adesivo dos agentes adesivos. Ao aplicar uma força perpendicular à interface adesiva, é testada a eficácia de um material adesivo sobre o substrato. (Van Meerbeek *et al.*, 2010 ; Comba *et al.*, 2019 ; Sano *et al.*, 2020).

Neste tipo de ensaio, a dimensão da amostra é muito inferior à dos testes de macrotração, normalmente com uma dimensão igual ou inferior a 1 mm². Esta é uma vantagem porque permite uma distribuição mais uniforme das forças. Com efeito, a resistência à tracção depende da superfície de ligação. Diversos estudos têm observado uma maior incidência de falhas de coesão na dentina quando a resistência da adesão foi medida com uma área de superfície maior. De acordo com a teoria de Griffith sobre os defeitos, a resistência à tração de um material diminui com o aumento do tamanho da amostra ao testar materiais uniformes em tensão. Este resultado pode dever-se à distribuição de defeitos no material, uma vez que uma amostra maior conterá provavelmente mais defeitos do que uma amostra com uma área de superfície menor. Isto reduz a probabilidade de ocorrência de defeitos em áreas críticas quando são aplicadas forças. Outro aspecto positivo deste teste é que é possível preparar um grande número de microespécimes com uma única amostra inicial. (Van Meerbeek *et al.*, 2010 ; Armstrong *et al.*, 2017 ; dos Reis, 2019 ; Sano *et al.*, 2020).

A preparação das amostras pode ser feita de diferentes formas, principalmente através da *trimming technique* (técnica de corte) e a *non trimming technique* (técnica sem corte). Para ambas as técnicas, é feita em primeiro lugar uma secção transversal rectangular do espécime. Para a técnica de corte, a amostra é então cortada em forma de ampulheta, onde a interface adesiva se encontra na parte mais estreita, a fim de aumentar a concentração das forças na interface adesiva. Este corte é realizado utilizando brocas de diamante superfina para evitar stress adicional e para reduzir a criação de defeitos que poderiam criar a origem da propagação da fenda e assim falsar o teste. A técnica sem corte foi introduzido para reduzir

a ocorrência de grandes variações nos valores dos testes realizados com a *trimming technique*. É um método mais fácil e mais rápido de implementar. Baseia-se na criação de amostras em forma de palitos com uma secção transversal de 1mm x 1mm. Existe uma variante a esta técnica, que se baseia no facto que uma interface rectangular tem uma distribuição de força menos uniforme do que uma interface cilíndrica. As amostras cilíndricas foram assim desenvolvidas porque são teoricamente mais vantajosas para o ensaio de microtracção. No entanto, o fabrico destas amostras requer equipamento especial e mais tempo em comparação com a técnica sem corte. (Van Meerbeek *et al*, 2010 ; Sano *et al*, 2020).

No entanto, uma das desvantagens do teste de microtracção é a dificuldade de fazer amostras geometricamente idênticas, e a sua grande fragilidade devido à sua pequena dimensão. (dos Reis, 2019).

A influência da forma transversal e da superfície no teste de microtracção foi comparada utilizando amostras cilíndricas em secção transversal e amostras fabricadas através da técnica de *trimming*. Assim, a forma da secção transversal tem pouco efeito na resistência adesiva. É interessante notar que as forças de adesão obtidas com a técnica de *non trimming* são semelhantes às das amostras preparadas com a técnica de *trimming*. Com base nestes resultados, pode concluir-se que os valores que são obtidos por um dos três métodos, ou seja, amostras do método de *trimming*, amostras do método de *non trimming* com secção transversal rectangular e amostras com secção transversal cilíndrica, podem ser semelhantes. Destes, os espécimes feitos com a técnica de *non trimming* podem ser os mais fáceis e menos sensíveis à técnica. (Sano *et al*, 2020).

A força adesiva é calculada dividindo a força aplicada no momento da fractura da amostra pela área da superfície adesiva da amostra. Verifica-se que quanto maior for a força aplicada no momento da fractura na superfície adesiva, maior é a força adesiva de um material. (el Mourad, 2018 ; dos Reis, 2019).

1.4. Restauração pré-endodôntica

Como vai ser explicado no capítulo 1.5., o principal objectivo do tratamento endodôntico é limpar e instrumentar o canal radicular a fim de obter um preenchimento tridimensional do espaço endodôntico. Para um perfeito isolamento do dente da cavidade oral, a utilização de um dique de borracha é absolutamente necessário. Uma vez que muitos dentes que necessitam de tratamento endodôntico têm lesões cariadas profundas e destruição maciça do tecido duro do dente, a colocação do dique é por vezes difícil ou mesmo impossível. (Nica *et al*, 2007 ; Germani, 2018). Neste caso, antes de continuar o tratamento, é aconselhável realizar um alongamento coronário ou uma reconstrução da estrutura dura do dente a fim de obter um bom isolamento e uma boa cavidade de acesso com quatro paredes circundantes. (Nica *et al*, 2007 ; Kenneth, 2016). Uma restauração coronal pré-endodôntica pode simplificar a fase endodôntica e fortalecer o dente, reduzindo a possibilidade de danos adicionais ao dente devido ao grampo ou a mastigação antes que uma restauração final possa ser colocada. (Kurtzman GM, 2004).

A escolha do material restaurador é importante porque os tratamentos endodônticos podem durar várias sessões, pelo que este material reconstrutivo deve ser capaz de manter a sua integridade durante todo o tratamento, a fim de não falsear as medições do comprimento de trabalho. Esta restauração pode ser feita utilizando um cimento de ionómero de vidro, que será mais indicado para as perdas de tecido dentário moderadas ; ou uma resina composta que é preferível em casos de perda severa a muito severa (uma parede residual). A utilização de um cimento de ionómero de vidro parece ser a mais adequada, devido às suas aderências aos tecidos dentários, evitando uma etapa adicional de utilização de um sistema adesivo, no entanto têm uma resistência mecânica inferior tornando a utilização de resinas compostas mais vantajosas em muitos casos, especialmente se a restauração for feita para ser uma restauração definitiva que será mantida no final do tratamento. (Germani, 2018 ; Simon, 2018).

A criação de uma cavidade de quatro paredes permitirá :

- Facilitar a visualização dos pontos anatômicos, especialmente em oclusão, pois após a degradação da estrutura cariada, o dente está dilapidado e os pontos anatômicos são difíceis de localizar. (Kurtzman GM, 2004 ; Simon 2018).
- Facilitar a colocação e tornar possível a selagem do campo operatório através do isolamento absoluto, evitando assim a contaminação do sistema radicular pelo fluxo de saliva durante o tratamento e garantindo assim as regras de assépsia. (Dellacherie, 2015 ; Germani, 2018 ; Simon, 2018).
- A obtenção de uma cavidade de quatro paredes, servindo de reservatório para soluções de irrigação. Permitir que a solução de irrigação seja mantida permanentemente livre de contaminação externa e em contacto permanente com o canal radicular. Também reduz o risco de ingestão de produtos de irrigação pelo paciente e facilita a instalação de uma restauração temporária e a sua estanqueidade entre duas sessões de tratamento (Dellacherie, 2015 ; Germani, 2018 ; Simon, 2018).

A colocação de uma restauração coronária durante o tratamento endodôntico num dente gravemente afectado antes da desinfecção e enchimento do sistema radicular reduz consideravelmente o risco de recontaminação bacteriana por microinfiltração coronal (microinfiltração), que é um dos principais factores de insucesso do tratamento endodôntico. (Kurtzman GM, 2004 ; Nica *et al*, 2007).

1.5. Irrigação endodôntica

1.5.1. Objectivo da irrigação endodôntica

O principal objectivo no tratamento endodôntico é a desinfecção de todo o sistema de canais radiculares. Isto exige que o conteúdo da polpa seja removido, porque é considerado como o fonte da infecção. Para atingir este objectivo, é necessário um tratamento quimiomecânico. Isto é conseguido através da instrumentação mecânica e irrigação química, em conjunto com

medicação do sistema de canais radiculares entre sessões de tratamento (opcional). A preparação mecânica permitirá preparar, e dar uma forma específica aos canais e remover o seu conteúdo. Contudo, esta instrumentação será também responsável pela formação de detritos dentinários e, conseqüentemente, pela formação de uma camada de *smear layer* no sistema de canais radiculares. A presença de microrganismos, e portanto dos seus subprodutos, é considerada como o principal factor etiológico no desenvolvimento de patologias pulpares e peri-radiculares. A fim de reduzir ou eliminar as bactérias e os restos de tecido pulpar, foram sugeridas várias soluções. Um irrigante considerado óptimo teria todas as características consideradas benéficas na endodontia, mas sem propriedades negativas ou nocivas. No entanto, neste momento, nenhuma solução pode ser considerada óptima. Uma combinação de produtos de irrigação é geralmente utilizado para aumentar o sucesso do tratamento. (Mohammadi, 2008 ; Kandaswamy & Venkateshbabu, 2010 ; Dellacherie, 2015 ; Kenneth, 2016).

A solução ideal deve responder a muitos objectivos biológicos e mecânicos. Deve ter as seguintes características :

- Um amplo espectro antibacteriano eficaz contra bactérias anaeróbias, bactérias aeróbias e microrganismos presentes no biofilme.
- Uma penetração fácil e eficaz de todo o sistema de canais radiculares (túbulos dentinários, canais principais e laterais e acessórios).
- Um efeito antibacteriano em longo prazo denominado efeito de remanência (substantividade)
- Uma dissolução rápida e total do conteúdo orgânico e inorgânico do canal (todos os tecidos necróticos da polpa e resíduos de tecidos).
- A capacidade de inactivar as endotoxinas (lipopolissacáridos bacterianos) envolvidas no processo de desenvolvimento da doença pulpar. (Kandaswami & Venkateshbabu, 2010 ; Dellacherie, 2015).

Não há provas na literatura que demonstrem que apenas a instrumentação mecânica possa alcançar um sistema de canal radicular livre de bactérias e microrganismos. Tendo em conta

a complexidade anatômica do sistema de canais radiculares, é muito provável que a instrumentação mecânica por si só não consiga eliminar locais infecciosos sem ação química. (Mohammadi, 2008).

Um estudo foi realizado entre os membros da Associação Americana de Endodontia (AAE) em 2011 para determinar as soluções de irrigação mais utilizadas, segundo os profissionais. Note-se que o irrigante mais utilizado, como irrigante primário ou secundário, entre os inquiridos é o hipoclorito de sódio a 97%, seguido pelo EDTA e clorexidina, os outros irrigantes permanecem abaixo dos 20% (ver Figura 5. e 6.). Além disso, no mesmo estudo, foi solicitado a concentração de NaOCl utilizada no seu protocolo de irrigação. A concentração de NaOCl mais frequentemente utilizada entre os membros da AAE é superior a 5,0% (Dutner *et al*, 2011).

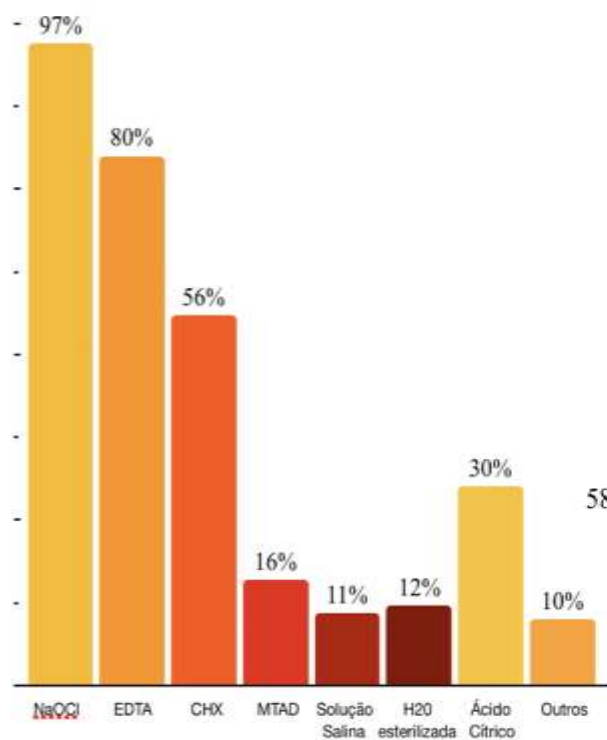


Figura 5. Percentagem de inquiridos que utilizam cada irrigantes como primário, ou principal, durante o tratamento do canal radicular. (adaptado de Dutner *et al*, 2011).

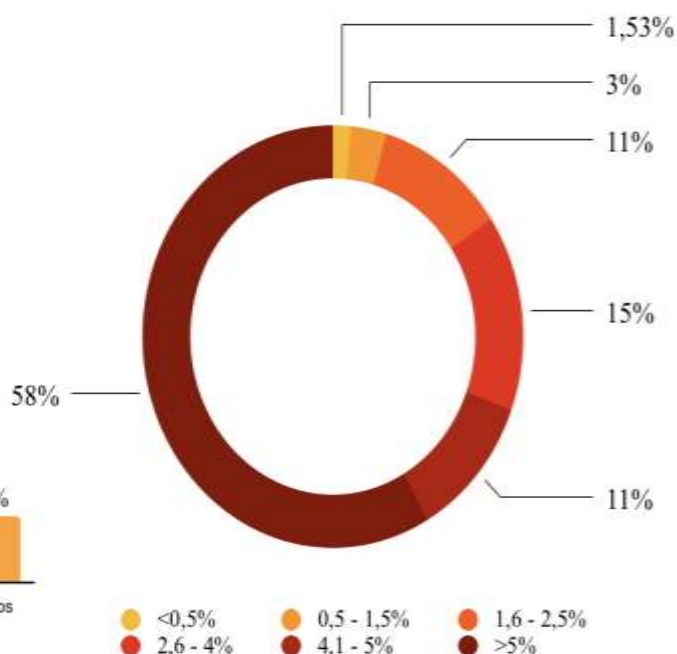


Figura 6. Número de inquiridos que utilizam cada gama de concentração de NaOCl nos seus protocolos de irrigação. (adaptado de Dutner *et al*, 2011)

1.5.2. Tipos de irrigantes

1.5.2.1. Clorexidina

A clorexidina ou digluconato de clorexidina, surgiu no Reino Unido, com a indicação geral de desinfecção, tratamento das infecções da pele, dos olhos e da garganta em seres humanos e animais. (Kenneth, 2016). Faz parte dos bis-guanidas aromáticos. É amplamente utilizado na odontologia pelas suas propriedades antifúngicas, anti-sépticas e antibacterianas (é especialmente eficaz contra *Candida albicans*). Tem uma carga positiva e um carácter hidrofóbico e lipofílico que lhe permite interagir directamente com as cargas negativas dos grupos fosfatos das paredes bacterianas. A clorexidina entra na célula através de mecanismos de transporte activos e passivos. A molécula clorexidina irá comprometer o equilíbrio osmótico da célula, provocando a precipitação do citoplasma e, consequentemente, a morte da célula. A clorexidina actua atacando as membranas das bactérias (e dos fungos) Gram-positivos e Gram-negativos. A actividade antimicrobiana da clorexidina depende do valor do pH, com um espectro óptimo de 5,5 a 0,7. Um dos principais inconvenientes da clorexidina é a incapacidade de dissolver tecido orgânico e necrótico. Por conseguinte, não pode dissolver toda a *smear layer*. Acaba também por causar descoloração dentária na utilização diária como colutório. (Kandaswamy & Venkateshbabu, 2010 ; Dellacherie, 2015 ; Kenneth, 2016).

Dependendo da sua concentração, a clorexidina pode ser bactericida em alta concentração ou bacteriostática em baixa concentração. (Basrani & Lemonie, 2015). A clorexidina é frequentemente utilizado em concentrações que vão de 0,1 a 0,2% para o controlo da placa no meio oral ; na endodontia, a sua concentração é normalmente de 2%. (Jena *et al*, 2015).

1.5.2.2. EDTA

O EDTA ou ácido etilenodiaminotetracético, introduzido na odontologia pelo médico dentista norueguês Nygaard-Østby em 1957, é um ácido aminopolicarboxílico, e foi introduzido pela primeira vez para facilitar o tratamento dos canais calcificados. O EDTA reage com os iões de cálcio da dentina, e da *smear layer*, formando um complexo EDTA-Ca estável e solúvel que se precipitará. É, portanto, um agente quelador e, por conseguinte, tem o poder de desmineralizar a dentina. Esta poder permitirá, portanto, abrir os túbulos

dentinários e promover assim uma melhor penetração das soluções de irrigação. Por conseguinte, permite a dissolução da matéria inorgânica. O EDTA facilita assim a acção de soluções desinfectantes sobre as bactérias intra-tubulares. A sua eficácia é proporcional à sua concentração : em concentrações muito baixas, perde a sua capacidade de quelação. Depende também do pH : tem uma acção óptima com um pH fisiológico e básico : entre 6 e 10. (Kandaswamy & Venkateshbabu, 2010 ; Dellacherie, 2015 ; Jena *et al*, 2015 ; Kenneth, 2016).

1.5.2.3. NaOCl

A utilização de hipoclorito de sódio como agente de irrigação endodôntica foi introduzida pelo Crane em 1920. (Dellacherie, 2015). É a solução de irrigação mais utilizada em endodontia, pois satisfaz da melhor forma os critérios para a solução ideal. Principalmente utilizado pelas suas propriedades anti-sépticas, tem também uma acção solvente sobre os tecidos orgânicos e necróticos. A sua acção é reforçada pela sua baixa tensão superficial, o que facilita a sua penetração nas cavidades mais pequenas do canal e nos túbulos dentinários. (Estrela *et al*, 2002 ; Dellacherie, 2015 ; Kenneth, 2016).

O hipoclorito de sódio tem uma reacção de equilíbrio químico quando em contacto com o monóxido de hidrogénio (H₂O) :



À temperatura corporal, o cloro reactivo em solução aquosa existe sob duas formas : o ião hipoclorito (OCl⁻) e o ácido hipocloroso (HClO), sendo que a forma de equilíbrio do pH = 9 na presença de um meio ácido ou neutro, o ácido hipocloroso será a forma dominante, enquanto que num meio básico (acima de pH = 9) a forma dominante é o ião hipoclorito. O HClO é a forma responsável pela actividade antibacteriana, o potencial germicida do ácido hipocloroso é aproximadamente 80 vezes superior ao do ião hipoclorito (Jena *et al*, 2015).

Em contacto com os tecidos orgânicos, podemos distinguir três tipos de reacções : uma reacção de saponificação (Figura 7.) ; uma reacção de neutralização dos aminoácidos (Figura 8.) ; e uma reacção de cloraminação (Figura 9.). (Estrela *et al*, 2002 ; Mohammadi, 2008)

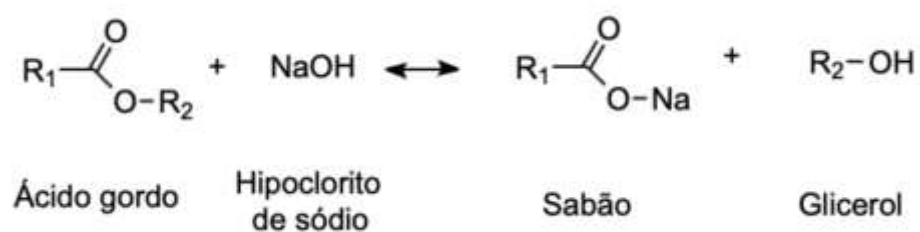


Figura 7. Reação de saponificação.

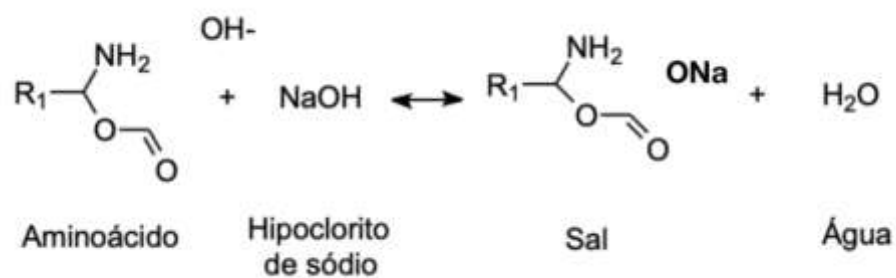


Figura 8. Reação de neutralização dos aminoácidos.

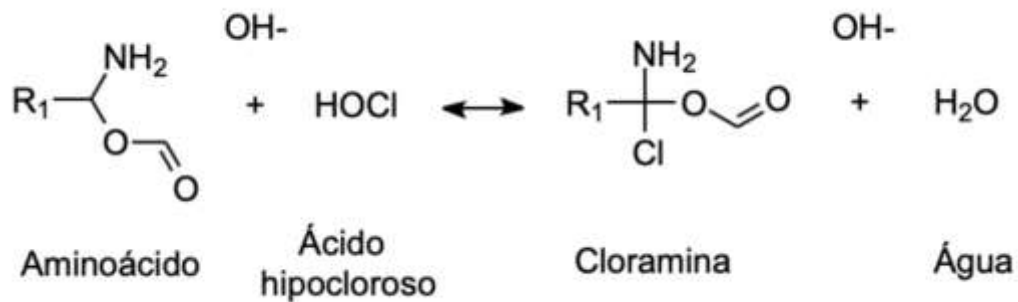


Figura 9. Reação de cloraminação.

As características físico-químicas do hipoclorito de sódio são essenciais para explicar o seu mecanismo de acção. As reacções de saponificação, neutralização de aminoácidos e cloraminação ocorrem na presença de microrganismos e de tecidos orgânicos. Quando o hipoclorito de sódio entra em contacto com as proteínas dos tecidos, formam-se nitrogénio, formaldeído e acetaldeído. As ligações peptídicas são fragmentadas e as proteínas desintegradas, permitindo que o hidrogénio presente no grupo amina da solução seja substituído por um cloro, formando cloraminas (-NCl-). A actividade antimicrobiana está ligada aos sítios enzimáticos essenciais da bactéria causando uma inactivação irreversível por iões hidroxil e por reacção de cloraminação. A dissolução orgânica é obtida através da reacção de saponificação onde o hipoclorito de sódio degrada os lípidos e ácidos gordos, formando "sabão" e glicerol. (Estrela *et al*, 2002 ; Kenneth, 2016). A irrigação mais eficaz com hipoclorito de sódio parece ser com uma titulação de 5,25% durante 40 minutos. (Kandaswamy & Venkateshbabu, 2010).

1.5.2.4. Outros Irrigantes

Existem vários outros irrigantes, mas muito menos utilizados em endodontia. Entre estes podemos encontrar :

- O ácido cítrico, que é um quelador de iões de cálcio. Em concentração equivalente, é tão eficaz como o EDTA na dissolução da fracção mineral da *smear layer*. Por conseguinte, é utilizado como alternativa ao EDTA com uma concentração entre 6 e 40%. Continua a ser pouco utilizado porque tem muitas desvantagens, é uma solução instável que tende a cristalizar em contacto com os detritos orgânicos. Além disso, tem uma actividade bactericida muito baixa e a sua eficácia como solvente de matérias orgânicas é muito limitada. (Dellacherie, 2015).
- O MTAD : é também um agente quelador sob a forma de um antibiótico tópico numa concentração próxima do EDTA. Desenvolvido por Torabinejad *et al*, é um irrigante que combina propriedades quelatantes e antibacterianas. É uma mistura de 3% de doxiciclina (isómero de tetraciclina) com um detergente (Tween-80) e 4,25% de ácido cítrico. (Torabinejad *et al*, 2003). Trata-se, portanto, de uma mistura de irrigantes. A sua utilização

no enxaguamento final desinfecta o sistema canalar e elimina a camada de esfregaço, mas a sua actividade solvente sobre a matéria orgânica permanece limitada. (Kandaswamy & Venkateshbabu, 2010 ; Dellacherie, 2015).

- O QmiX : introduzido em 2011, é também uma combinação de irrigantes, recomenda-se a sua utilização no final da instrumentação, após a irrigação com NaOCl. Contém um análogo da clorexidina, Triclosan (brometo de N-cetyl-N,N-trimetilamónio) e EDTA como agente quelador. (Kenneth, 2016). A sua capacidade de remoção da *smear layer* é igual à aquela do EDTA à 17% após a utilização de NaOCl à 5,25% na irrigação inicial. Além disso, o QMiX em conjunto com NaOCl em condições laboratoriais demonstrou ser mais eficaz na remoção de *E. faecalis*, biofilme do que a clorexidina e EDTA. (Stojicic *et al*, 2012).
- Existe também uma outra categoria além dos irrigadores químicos : os irrigadores naturais. (Kandaswamy & Venkateshbabu, 2010). Assim encontramos o Triphala, que é uma mistura de pó de três frutos de plantas medicinais amplamente utilizadas na medicina ayurvédica : *Terminalia bellerica*, *Terminalia chebula*, e *Emblica officinalis*. Para além de ser antibacteriano, é também um óptimo agente quelador, porque os frutos na sua composição são ricos em ácido cítrico, o que lhe permite eliminar a *smear layer*. (Kandaswamy & Venkateshbabu, 2010 ; Choudhary *et al*, 2018). O chá verde, rico em polifenóis, extraído de *Camellia sinensis*, mostrou efeitos antibacterianos importantes, mas é também muito eficaz na inibição das MMPs. A *Moridia citrifolia* (MCJ) é uma planta medicinal tradicional da cultura polinésia. Tem um vasto campo terapêutico : antibacteriano, antifúngico, antiviral, antitumoral, anti-helmíntico, analgésico, hipotenso, anti-inflamatório... (Kandaswamy & Venkateshbabu, 2010). O seu efeito antibacteriano deve-se à presença de aucubina L-asperulosida, alizarina e antoquinonas. Murray *et al* demonstraram que a MCJ era eficaz na remoção da *smear layer* e que a eficácia da MCJ à 6% era semelhante ao NaOCl à 6% em conjunto com uma lavagem com EDTA. (Murray *et al*, 2008). Os irrigadores à base de plantas têm potencial para se tornarem os melhores irrigadores, mas, por enquanto, a instabilidade da coloração pós-operatória continua a ser um problema, tal como a produção padronizada com uma preparação fácil. Tudo isto

continua a ser, por enquanto, um desafio para a endodontia contemporânea. (Choudhary *et al*, 2018).

1.5.3. Efeito do hipoclorito de sódio sobre a adesão

O hipoclorito de sódio de 3 à 5,25% , utilizado numa solução anti-séptica de irrigação intracanal, dissocia-se no contacto com bactérias e da parte orgânica da dentina, em cloreto de sódio e oxigénio. Este composto inibe fortemente a polimerização dos adesivos e interfere com a sua penetração nos túbulos de dentina intertubular, diminuindo assim os valores da adesão. Este efeito prejudicial sobre a adesão deve ser correlacionado com o tempo de aplicação do hipoclorito de sódio. (Bolla, 2014 ; Dikmen & Tarim, 2018). Outra razão para a diminuição da adesão seria a persistência nos túbulos e na matriz proteica de resíduos de peróxido de ureia ou de peróxido de carbamida das soluções lubrificantes. O oxigénio assim libertado evitaria a infiltração e inibiria a polimerização das resinas adesivas. A contaminação da dentina por hipoclorito de sódio, e por soluções lubrificantes contendo peróxido de hidrogénio, leva a uma diminuição da aderência do material até 67%. (Bolla, 2014).

Além disso, o NaOCl poderia danificar os componentes orgânicos da dentina, impedindo assim que os monómeros penetrassem suficientemente na dentina desmineralizada, resultando numa diminuição da resistência da ligação. (Mohammed Hassan *et al*, 2014).

Outros autores sugerem que a aplicação de NaOCl à dentina revestida de *smear layer* removeria a parte rica em colagénio da *smear layer*, o que resultaria numa redução da *smear layer*. Isto permite melhorar a adesão de um adesivo sel-etch, pois pode aumentar a difusão dos monómeros ácidos através de canais cheios de água entre as partículas da *smear layer*, expandindo-as para alcançar e interagir com a superfície subjacente da dentina. (Mohammed Hassan *et al*, 2014).

1.5.4. Efeito do hipoclorito de sódio sobre a resina composta

Antes da polimerização, alguns estudos relataram que a utilização de NaOCl pode interferir com a polimerização da resina, tal como acontece com os adesivos. Como o NaOCl é um oxidante biológico em solução aquosa, forma radicais superóxidos que serão responsáveis pela modificação da fase de polimerização. De facto, estes radicais, produzidos pelo hipoclorito de sódio, interrompem e competem com a propagação dos radicais livres gerados durante a polimerização dentro da resina, resultando na terminação prematura da cadeia de polimerização e, portanto, numa polimerização incompleta da resina. (Nima *et al*, 2020).

Depois as pesquisas bibliográficas no tema da resistência adesiva entre resina composta / resina composta após irrigação endodôntica, existem ainda lacunas que conduzem a necessidade de efectuar estudos que avaliem os protocolos mais adaptados para obter a melhor adesão.

II. OBJETIVOS DO ESTUDO

Neste estudo o objectivo é avaliar a influência da irrigação endodôntica com hipoclorito de sódio, sobre a resistência adesiva à microtração entre resina composta e resina composta, com diferentes tipos de protocolo adesivo.

2.1. Hipóteses do estudo

2.1.1.Hipótese Nula

Hipótese nula 1 : Não existem diferenças estatisticamente significativas na resistência adesiva à microtração, entre resina composta/ resina composta, após irrigação com hipoclorito de sódio.

Hipótese nula 2 : Não existem diferenças estatisticamente significativas na resistência adesiva à microtração após irrigação com hipoclorito de sódio entre os diferentes protocolos adesivos.

2.1.2.Hipótese alternativa

Existem diferenças estatisticamente significativas na resistência adesiva a microtração, entre resina composta/ resina composta, após irrigação com hipoclorito de sódio, entre diferentes protocolos adesivos.

III. MATERIAS E MÉTODOS

3.1 Preparação das amostras

Foram realizados 16 blocos de resina composta nano-híbrida Grandio (VOCO, GMBH – Cuxhaven – Alemanha) de cor A1, e de tamanho : 10x10x6mm. Foram feitas através de uma chave de silicone. (Figura 11-A). Estes blocos foram fotopolimerizados em três incrementos de 2mm de espessura cada um. A fotopolimerização foi realizada utilizando um fotopolimerizador Optilux 501 (Kerr, Orange, USA) durante 20 segundos. O fotopolimerizador foi calibrado a cada 10 utilizações com um radiômetro Demetron Model 100 (Demetron Research Corp., Danbury EUA, CT), para asseguramos sempre a mesma energia. Antes da fotopolimerização do último incremento, foi colocada uma folha de acetato na superfície do bloco, a fim de obter uma superfície lisa e uniforme. (Figura 11-B). O bloco é depois fotopolimerizado. Cada amostra é então removida da chave de silicone e uma camada de glicerina é aplicada em todos os lados do bloco para se conseguir uma polimerização completa do compósito. (Figura 11-C). Todos os lados foram então fotopolimerizados durante 20 segundos. Estes blocos foram em seguida aleatoriamente distribuídos por 4 grupos de estudo (n=4).

3.1.1. Diferentes grupos

- Grupo 1 : Grupo de controlo : sem irrigação para verificar a adesão da resina composta/ resina composta.
- Grupo 2 : Irrigação com hipoclorito de sódio, condicionamento ácido, Optibond FL™
- Grupo 3 : Irrigação de Hipoclorito de Sódio, instrumentação dos blocos com uma broca diamantada, condicionamento ácido, Optibond FL™
- Grupo 4 : Irrigação com Hipoclorito de Sódio, Silicalização, Silanização, Optibond FL™.

Irrigação dos grupos 2, 3, 4 : O protocolo de irrigação usado neste estudo é o mesmo protocolo usado na Clínica Universitária Egas Moniz para os tratamentos de endodontia. Consiste na utilização de hipoclorito de sódio a 1%, durante uma hora trocando cada dois minutos. Para realizar a irrigação, os blocos são suspensos sobre uma placa de petri por meio de um palito de madeira, onde os blocos são colados com uma cera. (Figura 10). Assim a superfície de interesse fica sempre em contacto com o líquido.

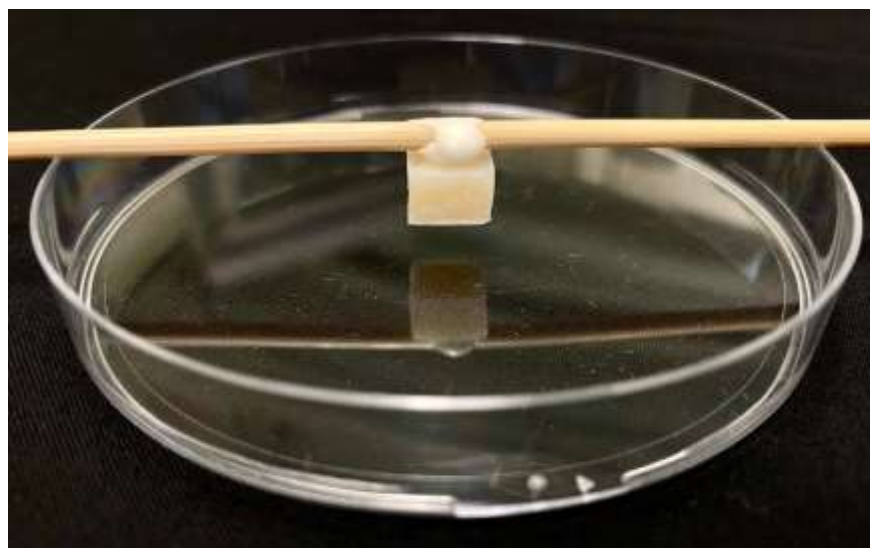


Figura 10. Método de irrigação dos blocos de resina composta

Tabela 1 : Resumo do protocolo.

GRUPOS				
	1	2	3	4
GRANDIO	CONTROLO			
	Realização de 4 blocos com o auxílio de uma chave de silicone	Realização de 4 blocos com o auxílio de uma chave de silicone	Realização de 4 blocos com o auxílio de uma chave de silicone	Realização de 4 blocos com o auxílio de uma chave de silicone
TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE	Não se realizam tratamentos	Não se realizam tratamentos	Preparação dos blocos utilizando uma broca diamantada esférica (ISO 014 de granulometria média) montada numa turbina	Silicatização da superfície utilizando o sistema CoJet Sand de 30µm (3M) seguindo as instruções do fabricante. Depois silanização da superfície com RelyX Ceramic Primer.
NAOCL	-Não se realiza irrigação endodôntica	-Irrigação com NaOCl a 1% durante 1h trocando de dois em dois minutos.		
CONDICIONAMENTO ACIDO E OPTIBOND FL	Com ácido ortofosfórico de 37% na superfície dos quatro blocos durante 15 segundos, lavagem e secagem (15s) dos blocos. Depois aplicação do sistema adesivo OptiBond FL™ (Kerr) de acordo com as instruções do fabricante : aplicação do <i>bond</i> com <i>microbrush</i> durante 5 segundos, secagem durante 3 segundos e depois fotopolimerização durante 20 segundos.			Sem condicionamento ácido prévio e aplicação do sistema adesivo OptiBond FL™ (Kerr) da mesma forma que nos outros grupos.
RESTAURAÇÃO	Realização de restauração de resina composta GRANDIO (VOCO), adicionada a cada bloco em três incrementos de 2mm cada. Estas restaurações foram fabricadas utilizando uma matriz metálica e um porte matriz universal.			
ARMAZENAMENTO	Em água destilada, em recipientes fechados, colocados numa estufa a 37°C durante 24 horas.			
TESTE DE RESISTENCIA ADESIVA	As amostras foram seccionadas longitudinalmente com um microtomo, a fim de obter palitos. Cada palito foi colado individualmente a um jig de Geraldeli. Cada palito foi então testado sob tensão com a máquina de teste universal de micro-tração.			

Tabela 2 : Composição dos materiais usados.

MATERIAL/FABRICANTE	CLASSIFICAÇÃO	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	LOTE
OPTIBOND™ FL (KERR CORPORATION, ORANGE, CA, EUA)	Sistema adesivo Etch-and-rinse 3P	Primer : HEMA, GPDM, MMEP, água, etanol, fotoiniciador (CQ), BHT Bond : Bis-GMA, HEMA, GPDM, UDMA, fotoiniciador (CQ), ODMAB, partículas (SiO ₂ , vidro de bário aluminoborosilicato, fator de acoplamento A174	7459571
GEL ETCH (CLINIX DENTISTRY, TREMBLAY, FRANÇA)	Ácido ortofosfórico	Ácido fosfórico 37%, água, Estabilizador Pigmento Sílica	4331QE
GRANDIO (VOCO, GMBH – CUXHAVEN – ALEMANHA)	Resina composta	Bis-GMA, TEGDMA, Dióxido de silício e partículas de vidro	1936578 1913575 1916134
COJET SAND (3M, ST. PAUL, MN, EUA)	Sistema Adesivo de Reparação Intra-oral	Areia silicatizada (Tamanho de partícula de 30 µm)	7054666
RELYX™ CERAMIC PRIMER (3M, ST. PAUL, MN, EUA)	Silano	Álcool etílico, água, (MPS) methacryloxypropyltrimethoxysilano	NA88920

3.1.2. Preparação

A preparação é ilustrada nas figuras 11 e 12.

- Grupo de preparação 1 : Condicionamento ácido com ácido ortofosfórico de 37% na superfície dos quatro blocos durante 15 segundos (Figura 12-B e C), lavagem e secagem durante 15s dos blocos. Depois aplicação do sistema adesivo OptiBond FL™ (Kerr) de acordo com as instruções do fabricante : aplicação do *bond* com *microbrush* durante 5 segundos (Figura 12-D), secagem durante 3 segundos e depois fotopolimerização durante 20 segundos.
- Grupo de preparação 2 : Irrigação preliminar com hipoclorito de sódio a 1% durante 60m renovando regularmente a solução de irrigação de 2 em 2 minutos. Depois aplicação do mesmo protocolo do grupo 1 : condicionamento ácido com ácido ortofosfórico de 37% na superfície dos quatro blocos durante 15 segundos, lavagem e secagem durante 15s dos blocos. Depois aplicação do sistema adesivo OptiBond FL™(Kerr) : aplicação do *bond* com *microbrush* durante 5 segundos, secagem durante 3 segundos e depois fotopolimerização durante 20 segundos.
- Grupo de preparação 3 : mesmo protocolo de irrigação : pré-irrigação com hipoclorito de sódio a 1% durante 60m renovando regularmente a solução de irrigação de 2 em 2 minutos. Em seguida, instrumentação da superfície de adesão utilizando uma broca diamantada esférica (ISO 014 de granulometria média) durante cerca de 5 segundos montada numa turbina com uma velocidade de rotação média de $375\,000\text{min}^{-1}$. Depois o mesmo protocolo de adesão : condicionamento ácido com ácido ortofosfórico de 37% na superfície dos quatro blocos durante 15 segundos, lavagem e secagem durante 15s dos blocos. Depois aplicação do sistema adesivo OptiBond FL™ (Kerr) : aplicação do *bond* com *microbrush* durante 5 segundos, secagem durante 3 segundos e depois fotopolimerização durante 20 segundos.
- Grupo de preparação 4 : Mesmo protocolo de irrigação : Pré-irrigação com hipoclorito de sódio a 1% durante 60m renovando regularmente a solução de irrigação de 2 em 2 minutos.

Silicatização da superfície utilizando o sistema CoJet Sand de 30 μ m (3M) durante 15 segundos, seguindo as instruções do fabricante. Em seguida silanização da superfície com RelyXTM ceramic primer (3M) e deixar secar durante 30 segundos. Aplicação do sistema adesivo OptiBond FLTM (Kerr) com *microbrush* durante 5 segundos, secar durante 3 segundos e depois fotopolimerizar durante 20 segundos.

Após os protocolos de preparação da superfície, uma restauração de resina composta Grandio (VOCO, GMBH – Cuxhaven – Alemanha) de cor A1 é adicionada a cada bloco em três incrementos de 2mm cada. (Figura 12-E). A fim de padronizar a espessura dos incrementos e o tamanho das amostras, estas restaurações foram fabricadas utilizando uma matriz metálica e um porte matriz universal. (Figura 12-A). Cada camada foi fotopolimerizada durante 20 segundos. A fim de obter uma superfície lisa e uniforme, o último incremento foi coberto com uma folha de acetato e polimerizado durante 20 segundos.

Após a obtenção dos 4 amostras por grupo, cada um foi armazenado em água destilada, em recipientes fechados, colocados numa estufa a 37°C durante 24 horas.

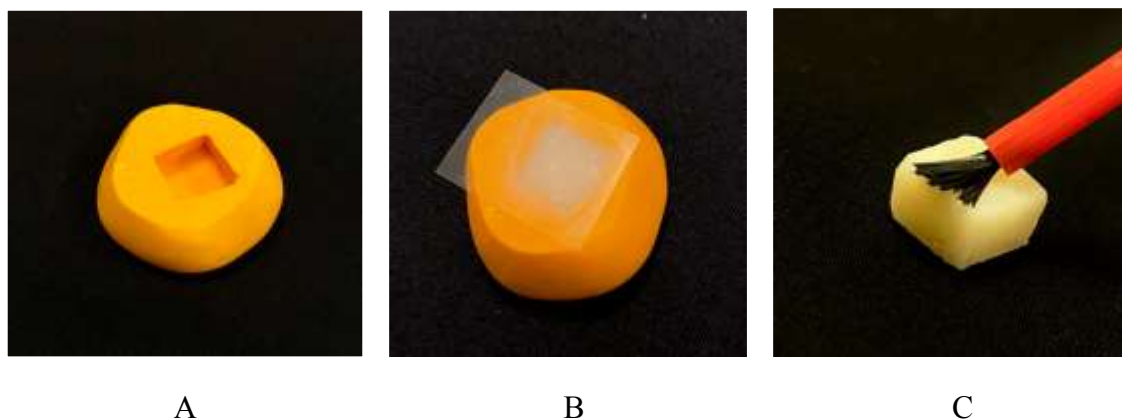


Figura 11. A : Chave de silicone. B : Última camada de resina composta, fotopolimerizado com uma folha de acetato. C : Aplicação de glicerina em todas as superfícies do bloco.

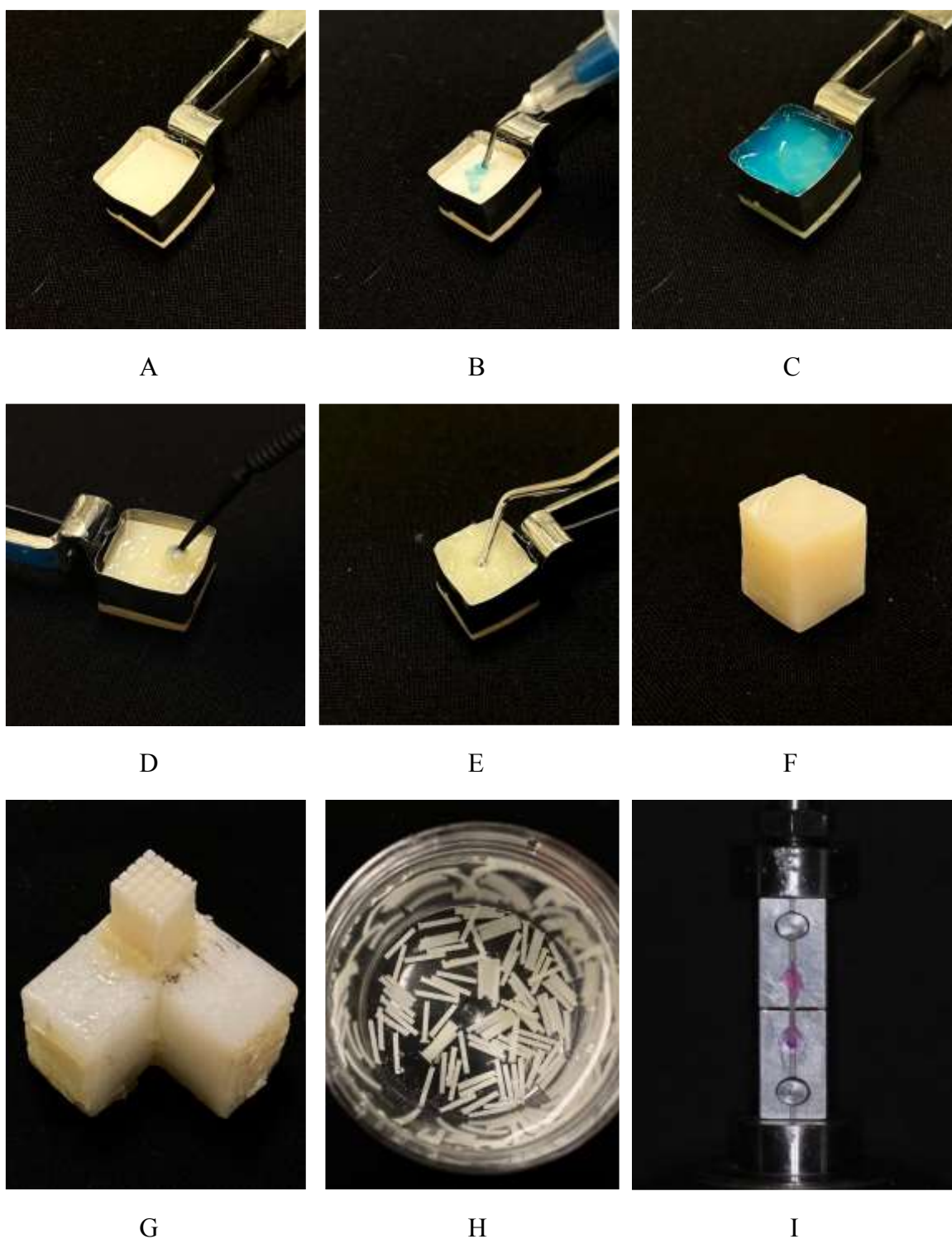


Figura 12. A : Bloco de resina composta com matriz metálica. B e C : condicionamento ácido com ácido ortofosfórico de 37%. D : Aplicação do bond (OptiBond FL™). E : preenchimento com resina composta GRANDIO (VOCO). F : Bloco restaurado. G : Bloco cortado com microtomo. H : Palitos. I : Jig de Geradeli com um palito colado.

3.2 Teste de microtração

As amostras previamente recolhidas foram seccionadas longitudinalmente com um micrótomo, Accutom-50 (Struers, Ballerup, Dinamarca), a fim de obter palitos com uma secção transversal de 1mm. (Figura 12-G). Cada palito foi colado individualmente a um jig de Geraldeli com uma cola de cianometacrilato (Zapid, Dental Ventures of America, Corona, CA, EUA). (Figura 12-I). Cada palito foi então testado sob tensão com a máquina de teste universal de microtração (Shimadzu Autograph AG-IS, Tóquio, Japão) à velocidade de 1mm/min até que ocorra fractura.

Antes do teste de micro tracção, cada amostra era medida usando uma craveira digital, onde o comprimento e largura de cada fragmento eram medidos. A área de cada amostra foi calculada em mm². Isto permite-nos obter a expressão da força de adesão utilizando a seguinte fórmula :

$$\mu\text{TBS} = F/A$$

Onde F é a força aplicada no momento da fractura da amostra e A é a área de superfície aderente expressa em mm². μTBS é portanto a força de adesão expressa em MPa.

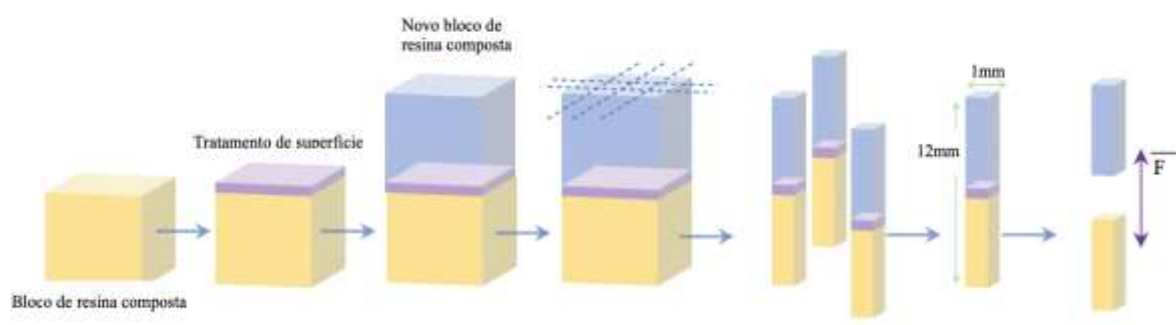


Figura 13. Esquema representativo do procedimento laboratorial (adaptado de Loomans *et al.*, 2011)

3.3. Análise estatística

Foi estabelecido como referência para aceitar ou rejeitar as hipóteses nulas um nível de significância do teste alfa ($\alpha \leq 0,05$). A fim de analisar as diferenças estatísticas da força adesiva entre diferentes grupos, a análise de variância unidireccional (ANOVA one-way) é utilizada para determinar se existem diferenças estatisticamente significativas entre os meios de dois ou mais grupos independentes. O nível de significância para aceitar ou rejeitar a hipótese nula foi fixado em ($\alpha \leq 0,05$).

As hipóteses destes testes, nomeadamente a hipótese de normalidade de distribuição e a hipótese de homogeneidade de variâncias, foram analisadas utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov e de Shapiro-Wilk. Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente com o *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 22.0 para Windows (Armonk, NY, EUA).

Foram excluídas da análise estatística :

- As amostras pré-falhas
- Amostras que obtiveram 0MPa
- Amostras com um valor entre 0 MPa e o valor mais baixo no grupo de ensaio específico, ou seja, o valor mais baixo registado no grupo 1 : 3,495 MPa
- Amostras fracturadas ao nível da cola de cianometacrilato

(Armstrong, 2017)

IV RESULTADOS

Os resultados obtidos no teste de microtracção são apresentados na tabela seguinte (Tabela 3), permitindo uma comparação das médias das resistências adesivas, e dos desvios padrão entre os diferentes grupos.

Tabela 3 : Comparação dos valores de μ TBS (MPa) entre os grupos

	N	M	Dp
Grupo 1	36	5,8525	0,27141
Grupo 2	38	5,4232	0,22785
Grupo 3	42	6,3301	0,29308
Grupo 4	31	10,0523	0,55862

Pode-se notar que o Grupo 4, que é o grupo que recebeu um tratamento de superfície com aplicação de CoJet e silano, é o grupo com a maior resistência adesiva em comparação com os outros grupos : 10.0523 MPa. O grupo com o valor mais baixo é o grupo 2, sem tratamento de superfície, mas com irrigação endodôntica com NaOCl.

Os resultados foram também apresentados sob a forma de diagrama de caixa, permitindo uma comparação dos valores da força de adesão (MPa) obtidos a partir do teste universal de microtracção. Permite-nos reportar o perfil de uma série estatística quantitativa. (Figura 14). Mas também sob a forma de um histograma (Figura 15).

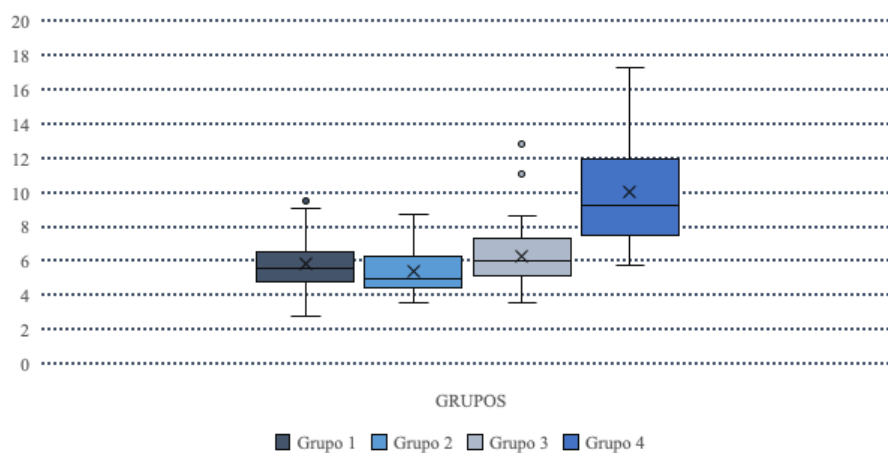


Figura 14. Diagrama de caixa das Forças de adesão entre os diferentes grupos (MPa)

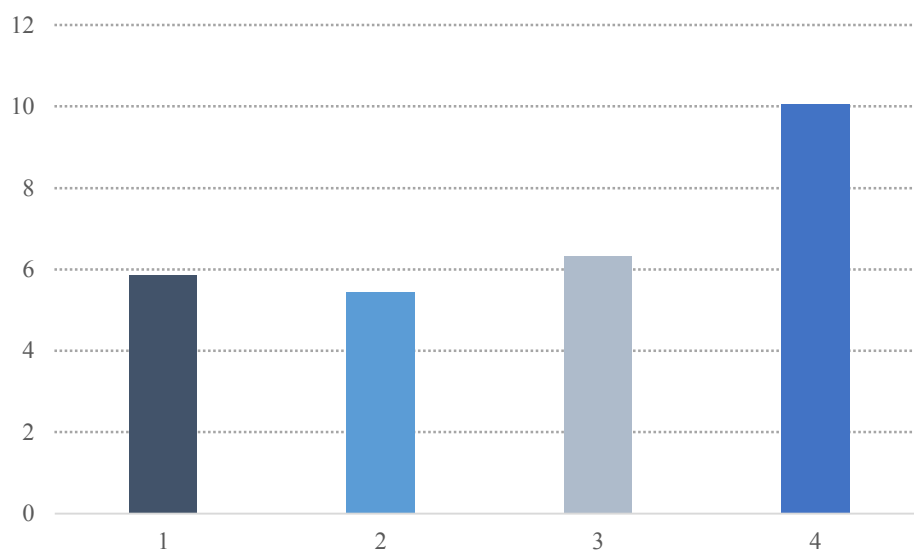


Figura 15. Valor da média da resistência adesiva de cada grupo

Observando os dados apresentados acima, (Tabela 3 ; Figura 14 ; Figura 15), verifica-se que a força adesiva entre duas camadas de resinas por microtracção difere significativamente entre os diferentes grupos, e que existem diferenças significativas nos valores de μ TBS medidos.

Antes de realizar o teste de ANOVA *one-way* sobre os dados obtidos, é necessário certificar-se de que os dados obtidos seguem a lei normal através do teste de Kolmogorov-Smirnov e de Shapiro-Wilk. Estes resultados são apresentados na Tabela 4. É igualmente necessário assegurar que os dados recolhidos sejam homogêneos. Para este efeito, o teste Lavene é realizado, os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 4 : Testes de Normalidade

	Grupo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
Força (MPa)	1	,100	36	,200*	,961	36	,231
	2	,196	38	,001	,887	38	,001
	3	,101	42	,200*	,915	42	,004
	4	,162	31	,038	,921	31	,026

*. Este é um limite inferior da significância verdadeira

a. Correlação de significância de Lilliefors

Tabela 5 : Teste de Homogeneidade de Variâncias

		Estatística de Levene	df1	df2	Sig.
Força (MPa)	Com base em média	7,992	3	143	,000
	Com base em mediana	5,481	3	143	,001
	Com base em mediana e com df ajustado	5,481	3	98,009	,002
	Com base em média aparada	7,253	3	143	,000

Após a realização destes testes, podemos submeter os dados recebidos ao teste ANOVA unidireccional, apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 : Teste de ANOVA one-way

	Soma dos quadrados	df	Quadrado médio	F	Sig.
Entre Grupos	441,333	3	147,111	34,833	0,000*
Nos grupos	603,936	143	4,223		
Total	1045,269	146			

* $p \leq 0,05$

Este teste revela uma diferença estatisticamente significativa entre os diferentes grupos testados pelo teste ANOVA unidireccional ($F(3,143) = 34,833$, $p = 0,000$).

A análise de variações (ANOVA) diz-nos portanto que existem diferenças entre os grupos, mas não especifica onde essas diferenças se encontram. Por esta razão, foi realizado o teste post-hoc Tukey HSD, que nos permitirá discernir qual o grupo que difere dos outros. Os resultados deste teste são apresentados na Tabela 7.

A comparação Post-hoc usando o teste Tukey HSD indica que a força adesiva média do grupo 4 ($M = 10,0523$, $SD = 0,55862$) é significativamente diferente da do grupo 3 ($M = 6,3301$, $SD = 0,29308$), do grupo 2 ($M = 5,2232$, $SD = 0,22785$) e do grupo 1 ($M = 5,8525$, $SD = 0,27141$). Não existiram outras diferenças estatisticamente significativas entre os outros grupos.

Tabela 7 : Testes Post-Hoc, Comparações multiplas - Tukey HSD

		Diferença média	Erro Erro	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite Inferior	Limite Superior
Grupo 1	2	,42934	,47797	,806	-,8131	1,6718
	3	-,47755	,46677	,736	-1,6909	,7358
	4	-4,19978*	,50354	,000	-5,5087	-2,8908
Grupo 2	1	-,42934	,47797	,806	-1,6718	,8131
	3	-,90688	,46010	,204	-2,1029	,2892
	4	-4,62911*	,49737	,000	-5,9220	-3,3362
Grupo 3	1	,47755	,46677	,736	-,7358	1,6909
	2	,90688	,46010	,204	-,2892	2,1029
	4	-3,72223*	,48661	,000	-4,9872	-2,4573
Grupo 4	1	4,19978*	,50354	,000	2,8908	5,5087
	2	4,62911*	,49737	,000	3,3362	5,9220
	3	3,72223*	,48661	,000	2,4573	4,9872

*A diferença média é significativa no nível 0.05

V DISCUSSÃO

Neste estudo, foi avaliada a resistência adesiva da reparação de uma resina composta após irrigação endodôntica. No entanto, é complicado discutir os resultados através da comparação com outros estudos, pois a literatura sobre a adesão entre duas resinas compostas é muito limitada e mesmo inexistente no impacto da irrigação com hipoclorito de sódio na adesão entre duas resinas compostas.

De facto, ainda hoje não existe consenso sobre a manutenção de uma restauração pré-endodôntica durante a restauração final de um dente endodonciado. A fim de poder manter uma restauração pré-endodôntica, é absolutamente necessário cumprir certos critérios. Estes critérios essenciais são : a colocação e selagem do dique, e a criação da melhor aderência possível realizada sem a presença de saliva, sangue, etc... Este estudo permite assim verificar a fiabilidade da aderência entre a restauração pré-endodôntica e a restauração realizada após o tratamento endodôntico. Isto não só poupa tempo mas também permite uma abordagem mais conservadora.

Após análises estatísticas, a hipótese nula 1 foi aceite, porque não existe diferenças estatisticamente significativas entre o grupo 1 e o grupo 2 uma vez que após irrigação com hipoclorito de sódio, a força adesiva entre duas resinas compostas sujeitas a microtracção não é significativamente diferente, independentemente do protocolo adesivo. A hipótese nula 2 é rejeitada porque existe diferenças estatisticamente significativas entre o grupo 4 e os outros grupos (G1, G2, G3), uma vez que após irrigação com hipoclorito de sódio, a força adesiva entre duas resinas compostas sujeitas a microtracção é significativamente diferente, dependentemente do protocolo adesivo.

Várias técnicas são aceites na preparação da superfície para um protocolo adesivo. Mas como todas as técnicas são condicionadas pela habilidade do operador, os protocolos devem ser de preferência simples e fáceis de executar, a fim de obter melhores resultados. Deste modo, ao seleccionar as técnicas de preparação, estes factores devem ser tidos em conta, bem como a disponibilidade do equipamento e a facilidade de manuseamento. Além disso, deve recordar-

se que os resultados deste estudo foram obtidos *in vitro*, em condições laboratoriais controladas e com algumas limitações, o que pode ter impacto na realidade clínica e não reflecti-la rigorosamente.

Há potencialmente dois problemas principais que surgem na reparação de resinas compostas, ou na restauração de resinas compostas com resinas mais antigas. O primeiro é a interface entre o composto pré-existente e o novo composto, que continua a ser a área mais fraca da restauração ; enquanto que o segundo problema é a composição e microestrutura da resina composta pré-existente. Em alguns casos nem sempre é possível determinar a resina composta que foi utilizada (Celik *et al*, 2014). É por isso que as preparações de superfície são essenciais para uma adesão bem sucedida entre as duas resinas compostas diferentes. Até à data não existe consenso na literatura sobre as técnicas de reparação entre duas resinas compostas. (Kansow, 2019).

Os sistemas adesivos de três passos são considerados como o “*gold standard*” na dentisteria adesiva. (Van Meerbeek *et al*, 2010 ; 2011 ; Sezinando, 2014 ; Da Rosa *et al*, 2015). O OptiBond FL é o sistema adesivo de referência entre os sistemas *etch-and-rinse* de três passos, uma vez que tem uma elevada resistência adesiva à microtracção, nanoinfiltração reduzida e um elevado grau de conversão. (Mendes, 2018 ; Van Meerbeek, 2020). Apenas o frasco adesivo foi utilizado nesta investigação, pelo motivo de que a utilização do frasco de *primer* neste estudo não é relevante. De facto, tal como relatado em vários estudos, a utilização do *primer*, quer seja hidrofílico (como o de OptiBond FL) ou hidrofóbico, não traz qualquer alteração na força adesiva entre duas resinas compostas. O *primer* presente num sistema *etch-and-rinse* de 3 passos é concebido principalmente para penetrar na rede de colagénio da dentina húmida exposta como resultado do condicionamento ácido. Portanto, não há necessidade de utilizar um *primer* nesta situação clínica. A sua utilização clínica pode, portanto, ser limitada à presença de dentina no local de reparação com resina composta. (Rathke, 2008 ; Gutierrez, 2020)

A presença de cargas inorgânicas é um factor importante no processo de adesão e, portanto, precisa de ser levado em consideração no protocolo adesivo. Tem havido um interesse

crescente na incorporação de cargas inorgânicas em sistemas adesivos, a eficácia da adesão dos sistemas adesivos é directamente influenciada pelo tipo e proporção de monómeros, solventes e iniciadores utilizados. (Mortazavi, 2012 ; Dressano, 2020). No estudo de Youssef (2001) foi demonstrada uma diferença estatisticamente significativa entre os adesivos sem cargas inorgânicas e aqueles com cargas, com valores de união mais elevados para aqueles com cargas. O adesivo OptiBond FL, segundo o fabricante, tem 48% de enchimento inorgânico (partículas de Bário) na sua composição, o que o torna um dos adesivos comercializados com o maior percentagem de carga e é considerado por muitos autores como o *gold standard* da adesão. (Sezinando, 2014 ; Van Meerbeek, 2020).

A eficácia da força adesiva numa reparação de resina composta depende da composição do adesivo, da molhabilidade do agente adesivo, e dos tratamentos de superfície (Fornazari, 2020). Como mencionado anteriormente, existem dois tipos de tratamentos de superfície : químico e mecânico (ou físico). A utilização de tratamentos físicos no caso de uma preparação de superfície de resina composta, tem o objectivo final de melhorar a ancoragem mecânica entre o compósito antigo e o novo, removendo a camada de superfície alterada pelo meio oral, ao mesmo tempo que aumenta a superfície disponível, criando irregularidades para melhorar a adesão ; enquanto que os tratamentos com agentes químicos são aplicados para melhorar o acoplamento químico entre os materiais de resina na interface adesiva. (Valente, 2016 ; Gutierrez, 2020).

Foram relatados resultados contraditórios na literatura sobre a utilização de brocas diamantadas na preparação da adesão das superfícies das resinas compostas. No seu estudo, Costa (2010) relata que a adesão da resina composta à resina composta é significativamente reduzida após um tratamento de superfície com uma broca diamantada. Enquanto no estudo de Dieckmann (2020), é relatado que a utilização de brocas diamantada dá significativamente os mesmos resultados em termos de força adesiva que na preparação com jateamento. Contudo, neste estudo, a utilização de broca não resultou em diferenças estatisticamente significativas na força de adesão entre duas resinas compostas.

O tipo de resina composta utilizada na preparação da amostra pode influenciar a resistência adesiva devido a diferenças no módulo de elasticidade, contração de polímeros, etc. devido às propriedades intrínsecas do material utilizado. Por esta razão, todos os grupos foram produzidos a partir da mesma resina composta (GRANDIO, VOCO), que é idêntica à restauração efectuada após a irrigação. No relatório científico realizado pela VOCO sobre a reparação de restauração de resina composta feita com resina GRANDIO, foi demonstrado que a adesão entre duas camadas de resina composta GRANDIO sem qualquer pré-tratamento mostra a melhor adesão de cisalhamento (*shear adhesion*) em comparação com outras marcas de resina composta. A melhor resistência ao cisalhamento é obtida pela combinação de tratamento mecânico e químico (o mesmo protocolo realizado no grupo 4 neste estudo), que também é superior a outras marcas de resina comparadas neste relatório (VOCO, 2015). Neste estudo, houve também uma diferença estatisticamente significativa na força adesiva entre o grupo tratado com CoJet e com silano, em comparação com os outros grupos.

O jateamento é capaz de gerar rugosidade superficial no compósito envelhecido pelo impacto mecânico das partículas de alumina, removendo de forma não selectiva partes da matriz do polímero e partículas de enchimento. Posteriormente, a retenção mecânica ocorre por interpenetração das duas restaurações diferentes para formar uma interfase colada. Ao utilizar partículas de alumina revestidas de sílica, isto proporciona, para além da retenção micromecânica, a camada de sílica deixada no compósito poderia contribuir para o acoplamento químico na interface através da silanização subsequente. Vários estudos concluíram que a abrasão do ar era o pré-tratamento mecânico mais eficaz para a reparação de compósitos. (Costa, 2010 ; Celik *et al*, 2014 ; Valente, 2016 ; Gutierrez, 2020).

No entanto, espera-se geralmente que as superfícies tratadas com jateamento (ou superfícies tratadas por outros meios físicos) sejam depois tratadas com um agente químico de acoplamento para um melhor potencial de reparação. (M. Özcan & Koc-Dundar, 2014 ; Valente, 2016)

A silanização é um passo essencial na criação da adesão química, que complementar a retenção micromecânica. A maioria dos estudos mostram que a aplicação de silanos aumenta a força de adesão em comparação com uma única aplicação de adesivos. (Fornazari, 2020). Embora os silanos sejam capazes de melhorar a molhabilidade em de materiais à base de resina na superfície da restauração, a sua eficácia está directamente relacionada com o tratamento da superfície do compósito. O seu acoplamento químico com o compósito depende da exposição das partículas de carga à superfície do compósito, que é essencial para o funcionamento do silano. (Valente, 2016 ; Fornazari, 2020). O silano irá, de facto, criar ligações covalentes entre as partículas de vidro presentes na resina e os monómeros presentes no sistema adesivo. No entanto, em vários estudos, é relatado que a adição de silano diminui a força de ligação entre duas resinas. (Hamano, 2011 ; Spyrou, 2014 ; de Medeiros *et al*, 2019). Embora o silano interaja com cargas inorgânicas na resina composta, forma uma camada espessa e multifásica entre a resina composta e o adesivo, impedindo a interacção directa dos monómeros de metacrilato no adesivo com a rede de polímeros da resina composta já polimerizada. No seu estudo, Gutierrez não é favorável à utilização de silano no protocolo adesivo entre dois resinas compostas. (Gutierrez, 2020).

Tal como referido no estudo de Fornazari (2020), a adição de silanos na composição dos sistemas adesivos, que é muito rara hoje em dia, poderia simplificar a técnica, tornando-a ao mesmo tempo menos susceptível a erros de manipulação. Há, no entanto, pouca investigação sobre este assunto. Os resultados da revisão sistemática de Kanzow, 2019 mostram que a combinação de tratamentos químicos (ou físicos) e químicos de superfícies compostas pode ajudar a melhorar a sua resistência à reparação. A aplicação de tratamentos químicos ou físicos e químicos de superfície a compósitos dentários envelhecidos parece, portanto, necessária para melhorar a força de ligação das restaurações à base de metacrilato. (Valente, 2016 ; de Medeiros *et al*, 2019).

A utilização do laser está também a ser considerada em alguns estudos como um tratamento de superfície física. Existem três tipos de lasers utilizados na odontologia para uso clínico e o tratamento de superfície : (Er: YAG), (Nd: YAG) e (CO2). A superfície do substrato é irradiada com um raio laser. A energia do laser é então absorvida e convertida em energia

térmica. A energia térmica provoca o derretimento da superfície do substrato e produz irregularidades superficiais. (Matinlinna, 2018). Aumentando assim potencialmente a força adesiva entre as duas resinas compostas.

O protocolo de irrigação seguido neste estudo é o protocolo de irrigação aplicado na Clínica Universitária Egas Moniz. Consiste numa irrigação de uma hora com hipoclorito de sódio de 1% de concentração, renovado a cada dois minutos. De acordo com os resultados obtidos neste estudo, a irrigação com hipoclorito de sódio seguindo este protocolo não levará a uma mudança na força adesiva entre duas camadas de resinas compostas. De facto, apesar de uma média mais baixa de μ TBS no grupo 2 em comparação com o grupo 1, sabendo que a única variante entre estes dois grupos é a irrigação com NaOCl (para o grupo 2), não se pode discernir nenhuma diferença estatisticamente significativa entre estes dois grupos. No entanto, mais investigação sobre este assunto seria relevante, especialmente com uma concentração diferente e superior de NaOCl, o que permitiria uma melhor avaliação das consequências da irrigação endodôntica sobre a resina composta e suas consequências na resistência adesiva.

O teste de microtracção é o teste mais comumente realizado para a avaliação da força de *microtensile bond strength*. Permite a obtenção de um maior número de fracturas adesivas, sendo as fracturas mais significativas no teste de resistência adesiva, mas também permite registar valores mais elevado de resistência adesiva. (Fornazari, 2020). Segundo a literatura, as amostras com fracturas classificadas como coesivas ou mistas devem ser ignoradas. A fractura coesiva é devida ao desalinhamento da amostra na máquina de ensaio utilizada e, portanto, à distribuição desigual da força ao tensionar ; ou à introdução de micro-fendas ao cortar a amostra. Uma fractura mista significa que o percurso da fenda permanece predominantemente na interface adesiva mas inclui também algumas pequenas áreas de resina composta, ou uma região maior da superfície fracturada inclui também uma fractura coesiva na resina. Este tipo de fractura é excluído porque não é possível dizer com certeza que tipo de fractura ocorreu. Portanto, apenas as fracturas de adesão são retidas. (Armstrong *et al*, 2017). Deve notar-se que a variação nos resultados da força adesiva entre as diferentes amostras testadas pode dever-se a : diferenças estruturais nos substratos ; presença de

variabilidade na reprodução do protocolo experimental ; existência de variáveis no desempenho do teste avaliando a força adesiva das amostras (tamanho e geometria da amostra, método de aplicação de forças, espessura da camada adesiva, etc.) ; e erros de manipulação humana. (Amstrong *et al*, 2017).

De acordo com o estudo de Ghavam (2018), e de Celik (2014) um valor aceitável no teste de micro-tração para a reparação de um composto pelo mesmo composto é entre 15 e 30 MPa , mesmo que estes valores ainda não cheguem a um consenso. Anusavice (2013) considera que 20MPa é o valor mínimo para fornecer uma força de ligação suficiente. Os valores obtidos neste estudo estão abaixo dos valores ditos aceitáveis por outros autores. Apenas alguns dos valores obtidos estão acima dos 15MPa.

Os resultados mostram que o grupo 4 tem os valores mais elevados de resistência adesiva à microtração, pode ser deduzido que no caso de para a restauração de uma restauração pré-endodôntica após irrigação endodôntica, o protocolo mais eficaz para promover uma adesão mais elevada é o jateamento com óxido de alumínio silicatizado seguindo por aplicação de silano e do sistema adesivo.

Contudo, como os valores de μ TBS obtidos são baixos, e abaixo dos valores considerados aceitáveis para uma adesão convencional, mesmo no grupo 4, isto não permite que o protocolo de jateamento com CoJet e silanização seja validado como um ótimo protocolo neste caso.

VI CONCLUSÃO

Dentro das limitações deste estudo *in vitro*, e analisando os dados obtidos, conclui-se que :

- Este estudo não encontrou diferença estatisticamente significativa na μ TBS entre o grupo de resina composta submetido a irrigação endodôntica (G2) e o grupo não submetido a irrigação endodôntica (G1) irrigado.
- Este estudo encontrou diferenças estatisticamente significativas entre o grupo 4 e os restantes. Poder-se-ia reportar que a utilização de um protocolo adesivo com silicicatização e depois silanização da superfície proporciona a melhor força adesiva após a irrigação endodôntica. No entanto, como os valores obtidos são considerados baixos em comparação com os valores desejáveis numa adesão convencional, uma investigação futura com um protocolo semelhante seria apropriada para aprofundar este assunto.

6.1. Relevância clínica

Com o actual desenvolvimento de sistemas adesivos e o aparecimento de novos materiais, tornou-se possível estabelecer resistências adesivas suficientemente satisfatórias para permitir a restauração de uma resina composta com uma resina composta. O sucesso desta restauração, contudo, depende da qualidade e durabilidade da adesão entre estas duas resinas.

No caso deste estudo foi avaliado a resistência adesiva entre duas resinas compostas após irrigação endodôntica, avaliando assim o protocolo mais relevante no caso de uma restauração definitiva direta sobre uma restauração pré-endodôntica após irrigação com hipoclorito de sódio. Este é um tema muito importante para a evolução da medicina dentária minimamente invasiva e conservadora, que deve ser mais explorado e investigado a fim de dar mais provas da fiabilidade técnica deste protocolo.

6.2. Perspectivas futuras

É necessária mais investigação sobre o efeito da irrigação endodôntica nas forças adesivas, especialmente no que diz respeito à sua influência sobre as propriedades físicas da resina composta, bem como a sua interação com os diferentes protocolos adesivos.

Por conseguinte, seria aconselhável continuar a investigar e experimentar, entre outras coisas, a influência dos materiais restauradores, protocolos de adesão, da camada inibida pelo oxigênio, tratamentos de superfície, e na longevidade da restauração.

VIII. BIBLIOGRAFIA

Anusavice, K. J. (2013). Phillips' Science of Dental Materials (Anusavice Phillip's Science of Dental Materials). In *Elsevier Saunders* (Vol. 12). Elsevier Health Sciences. <http://www.amazon.com/Phillips-Science-Dental-Materials-Anusavice/dp/0721693873>

Armstrong, S., Breschi, L., Özcan, M., Pfefferkorn, F., Ferrari, M., & Van Meerbeek, B. (2017). Academy of Dental Materials guidance on in vitro testing of dental composite bonding effectiveness to dentin/enamel using micro-tensile bond strength (μ TBS) approach. *Dental Materials*, 33(2), 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.11.015>

Asiri, A. M., Inamuddin, & Mohammad, A. (2018). Applications of nanocomposite materials in dentistry. In *Applications of Nanocomposite Materials in Dentistry*. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-05060-X>

Basrani, B., & Lemonie, C. (2005). Chlorhexidine gluconate. In *Australian Endodontic Journal* (Vol. 31, Issue 2, pp. 48–52). Aust Endod J. <https://doi.org/10.1111/j.1747-4477.2005.tb00221.x>

Bolla, M. (2014). *Restaurer la dent dépulpée* (p. 59).

Buonocore, M. G. (1955). A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *Journal of Dental Research*, 34(6), 849–853. <https://doi.org/10.1177/00220345550340060801>

Celik, C., Cehreli, B. S., Bagis, B., & Arhun, N. (2014). Microtensile bond strength of composite-to-composite repair with different surface treatments and adhesive systems. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 28(13), 1264–1276. <https://doi.org/10.1080/01694243.2014.896069>

Choudhary, E., Indushekar, K. R., Saraf, B. G., Sheoran, N., Sardana, D., & Shekhar, A. (2018). Exploring the role of Morinda citrifolia and Triphala juice in root canal irrigation:

An ex vivo study. *Journal of Conservative Dentistry*, 21(4), 443–449.
https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_58_18

Comba, A., Breschi, L., Alovise, M., Baldi, A., Tempesta, R. M., Cedrone, A., Carpegna, G., Mazzoni, A., Pasqualini, D., & Scotti, N. (2019). Effect of Er: YAG and burs on coronal dentin bond strength stability. *Journal of Adhesive Dentistry*, 21(4), 329–335.
<https://doi.org/10.3290/j.jad.a42932>

Costa, T. R. F., Ferreira, S. Q., Klein-Júnior, C. A., Loguercio, A. D., & Reis, A. (2010). Durability of surface treatments and intermediate agents used for repair of a polished composite. *Operative Dentistry*, 35(2), 231–237. <https://doi.org/10.2341/09-216-L>

D’Arcangelo, C., & Vanini, L. (2007). Effect of three surface treatments on the adhesive properties of indirect composite restorations. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 9(3), 319–326. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17655072>

Da Rosa, W. L. D. O., Piva, E., & Da Silva, A. F. (2015). Bond strength of universal adhesives: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry*, 43(7), 765–776.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.04.003>

de Medeiros, T., de Lima, M., Bessa, S., de Araujo, D., & Galvao, M. (2019). Repair bond strength of bulk fill composites after different adhesion protocols. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 0–0. <https://doi.org/10.4317/jced.56129>

Degrange, M., & Pourreyron, L. (2010). *Les systèmes adhésifs amélo- dentinaires*.

Dellacherie, C. (2015). *Place de l’irrigation en endodontie*. UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE DE LILLE 2.

Dieckmann, P., Baur, A., Dalvai, V., Wiedemeier, D. B., Attin, T., & Tauböck, T. T. (2020). Effect of Composite Age on the Repair Bond Strength after Different Mechanical Surface Pretreatments. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 22(4), 365–372.
<https://doi.org/10.3290/j.jad.a44867>

Dikmen, B., & Tarim, B. (2018). The effect of endodontic irrigants on the microtensile bond strength of different dentin adhesives. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 21(3), 280–286. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_282_17

dos Reis, J. L. A. (2019). *Influência de diferentes protocolos de silanização na resistência adesiva entre cerâmica feldspática e resina composta comercial*. INSTITUTO UNIVERSITARIO EGAS MONIZ.

Dressano, D., Salvador, M. V., Oliveira, M. T., Marchi, G. M., Fronza, B. M., Hadis, M., Palin, W. M., & Lima, A. F. (2020). Chemistry of novel and contemporary resin-based dental adhesives. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 110(May), 103875. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103875>

Dutner, J., Mines, P., & Anderson, A. (2012). Irrigation trends among american association of endodontists members: A web-based survey. *Journal of Endodontics*, 38(1), 37–40. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.08.013>

El Mourad, A. M. (2018). Assessment of Bonding Effectiveness of Adhesive Materials to Tooth Structure using Bond Strength Test Methods: A Review of Literature. *The Open Dentistry Journal*, 12(1), 664–678. <https://doi.org/10.2174/1745017901814010664>

Endruweit, A., Johnson, M. S., & Long, A. C. (2006). Curing of composite components by ultraviolet radiation: A review. In *Polymer Composites* (Vol. 27, Issue 2, pp. 119–128). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/pc.20166>

ESPE, 3M. (n.d.). *Product Dossier CoJet*.

Estrela, C., Estrela, C. R. A., Barbin, E. L., Spanó, J. C. E., Marchesan, M. A., & Pécora, J. D. (2002). Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Brazilian Dental Journal*, 13(2), 113–117. <https://doi.org/10.1590/S0103-64402002000200007>

Fernandes, I. S. M. C. (2009). *Estudio de las propiedades químicas y mecánicas de tres resinas compuestas de distinta generación*. Universidad de Granada.

Ferracane, J. L. (2011). Resin composite - State of the art. In *Dental Materials* (Vol. 27, Issue 1, pp. 29–38). Dent Mater. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.020>

Fornazari, I. A., Brum, R. T., Rached, R. N., & de Souza, E. M. (2020). Reliability and correlation between microshear and microtensile bond strength tests of composite repairs. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 103(October 2019), 103607. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.103607>

Germani, V. (2018). *Réalisation de vidéos pédagogiques : les reconstitutions pré-endodontiques en matériaux insérés en phase plastique*. UNIVERSITE DE LILLE.

Ghavam, M., Naeemi, M., Hashemikamangar, S. S., Ebrahimi, H., & Kharazifard, M. J. (2018). Repair bond strength of composite: Effect of surface treatment and type of composite. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 10(6), e520–e527. <https://doi.org/10.4317/jced.54030>

Ghivari, S., Chandak, M., & Manvar, N. (2010). Role of oxygen inhibited layer on shear bond strength of composites. In *Journal of Conservative Dentistry* (Vol. 13, Issue 1, p. 39). <https://doi.org/10.4103/0972-0707.62635>

Gutierrez, N. C., Moecke, S. E., Caneppele, T. M. F., Perote, L. C. C. C., Batista, G. R., Huhtalla, M. F. R. L., & Torres, C. R. G. (2019). Bond strength of composite resin restoration repair: Influence of silane and adhesive systems. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 20(8), 880–886. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2632>

Hamano, N., Chiang, Y. C., Nyamaa, I., Yamaguchi, H., Ino, S., Hickel, R., & Kunzelmann, K. H. (2011). Effect of different surface treatments on the repair strength of a nanofilled resin-based composite. *Dental Materials Journal*, 30(4), 537–545. <https://doi.org/10.4012/dmj.2010-202>

Hashimoto, M., Ohno, H., Kaga, M., Endo, K., Sano, H., & Oguchi, H. (2000). In vivo degradation of resin-dentin bonds in humans over 1 to 3 years. *Journal of Dental Research*, 79(6), 1385–1391. <https://doi.org/10.1177/00220345000790060601>

Hilton, T. J. (2013). *Summitt's Fundamentals of Operative Dentistry, a contemporary Approach*.

Hutmacher, D. W. (2015). *Biointerfaces : where material meets biology*.

Jena, A., Sahoo, S. K., & Govind, S. (2015). Root canal irrigants: a review of their interactions, benefits, and limitations. In *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995)* (Vol. 36, Issue 4, pp. 256–261; quiz 262, 264).

Kandaswamy, D., & Venkateshbabu, N. (2010). Root canal irrigants. *Journal of Conservative Dentistry*, 13(4), 256. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.73378>

Kanzow, P., Wiegand, A., Schwendicke, F., & Göstemeyer, G. (2019). Same, same, but different? A systematic review of protocols for restoration repair. *Journal of Dentistry*, 86(May), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.05.021>

Kenneth, M. (2016). Cohen's Pathways of the pulp. In *Textbook of Endodontics*. https://doi.org/10.5005/jp/books/12108_18

Kurtzman GM. (2004). Restoring teeth with severe coronal breakdown as a prelude to endodontic therapy. *Endodontic Therapy* 4, 21–22. <https://www.oralhealthgroup.com/features/restoring-teeth-with-severe-coronal-breakdown-as-a-prelude-to-endodontic-therapy/>

Loomans, B. A. C., Cardoso, M. V., Opdam, N. J. M., Roeters, F. J. M., De Munck, J., Huysmans, M. C. D. N. J. M., & Van Meerbeek, B. (2011). Surface roughness of etched composite resin in light of composite repair. *Journal of Dentistry*, 39(7), 499–505. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2011.04.007>

Loomans, B. A. C., Vivan Cardoso, M., Roeters, F. J. M., Opdam, N. J. M., De Munck, J., Huysmans, M. C. D. N. J. M., & Van Meerbeek, B. (2011). Is there one optimal repair technique for all composites? *Dental Materials*, 27(7), 701–709. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.03.013>

Lung, C. Y. K., & Matinlinna, J. P. (2012). Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: An overview. *Dental Materials*, 28(5), 467–477. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.02.009>

Marchesi, G., Frassetto, A., Mazzoni, A., Apolonio, F., Diolosà, M., Cadenaro, M., Di Lenarda, R., Pashley, D. H., Tay, F., & Breschi, L. (2014). Adhesive performance of a multi-mode adhesive system: 1-Year in vitro study. *Journal of Dentistry*, 42(5), 603–612. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.12.008>

Matinlinna, J. P., Lung, C. Y. K., & Tsoi, J. K. H. (2018). Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: A review. *Dental Materials*, 34(1), 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.09.002>

Melo, P. C., Menezes, R. C., Gama, B. M., Pedrosa, R. G., Heliomar, C. V., & de Souza Beatrice, L. C. (2011). *Selecionando corretamente as resinas compostas*. 10(2), 54–67. <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>

Mendes, C. I. A. (2018). *Diferentes estratégias adesivas para o sistema adesivo OptiBond FL - Um estudo de microinfiltração*.

Miletic, V. (2018). Dental Composite Materials for Direct Restorations. In *Dental Composite Materials for Direct Restorations*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60961-4>

Mohammadi, Z. (2008). Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *International Dental Journal*, 58(2009), 342–348. <https://doi.org/10.1922/IDJ>

Mohammed Hassan, A., Ali Goda, A., & Baroudi, K. (2014). The effect of different disinfecting agents on bond strength of resin composites. *International Journal of Dentistry*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/231235>

Mortazavi, V., Fathi, M., Ataei, E., Khodaeian, N., & Askari, N. (2012). Shear bond strengths and morphological evaluation of filled and unfilled adhesive interfaces to enamel and dentine. *International Journal of Dentistry*, May 2014. <https://doi.org/10.1155/2012/858459>

Muñoz, M. A., Sezinando, A., Luque-Martinez, I., Szesz, A. L., Reis, A., Loguercio, A. D., Bombarda, N. H., & Perdigão, J. (2014). Influence of a hydrophobic resin coating on the bonding efficacy of three universal adhesives. *Journal of Dentistry*, 42(5), 595–602. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.01.013>

Murray, P. E., Farber, R. M., Namerow, K. N., Kuttler, S., & Garcia-Godoy, F. (2008). Evaluation of Morinda citrifolia as an Endodontic Irrigant. *Journal of Endodontics*, 34(1), 66–70. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.09.016>

Nakabayashi, N., Kojima, K., Matsuhara, E. (1982). Promotion of adhesion by infiltration monomers into tooth substrates. *J Biomed Mat Res.*, 16, 265–273.

Nica, L., Goguta, L., & Ianes, C. (2007). PRE-ENDODONTIC RESTORATIVE TREATMENT: the first step to success in endodontic therapy Restauração pré-endodôntica: o primeiro passo para o sucesso na terapia endodôntica. *Rev. Clín. Pesq. Odontol*, 33(11), 33–36.

Nima, G., Cavalli, V., Bacelar-Sá, R., Ambrosano, G. M. B., & Giannini, M. (2020). Effects of sodium hypochlorite as dentin deproteinizing agent and aging media on bond strength of two conventional adhesives. *Microscopy Research and Technique*, 83(2), 186–195. <https://doi.org/10.1002/jemt.23401>

Özcan, M., & Koc-Dundar, B. (2014). Composite-composite adhesion in dentistry: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 28(21), 2209–2229. <https://doi.org/10.1080/01694243.2014.954659>

Özcan, M., & Mese, A. (2009). Fracture strength of indirect resin composite laminates to teeth with existing restorations: an evaluation of conditioning protocols. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 11(5), 391–397. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a17632>

Ozer, F., & Blatz, M. B. (2013). Self-etch and etch-and-rinse adhesive systems in clinical dentistry. In *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995)* (Vol. 34, Issue 1, pp. 12–14, 16, 18; quiz 20, 30).

Papacchini, F., Dall'Oca, S., Chieffi, N., Goracci, C., Sadek, F. T., Suh, B. I., Tay, F. R., & Ferrari, M. (2007). Composite-to-composite microtensile bond strength in the repair of a microfilled hybrid resin: effect of surface treatment and oxygen inhibition. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 9(1), 25–31. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17432398>

Pashley, D. H. (2002). The evolution of dentin bonding from no-etch to total-etch to self-etch. *Adhes Techol Sol Jan 2003* 1, 5(706). http://freece.vivalearning.com/contrib/PDF/DT_freece_pashley_kuraray.20103292119456965.pdf

Phaneuf, M., Haimeur, A., & França, R. (2019). Effect of anaerobic cure of self-etch adhesive on degree of conversion and shear bond strength. *Clinical Oral Investigations*, 23(5), 2227–2233. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2645-1>

Rathke, A., Tymina, Y., & Haller, B. (2009). Effect of different surface treatments on the composite-composite repair bond strength. *Clinical Oral Investigations*, 13(3), 317–323. <https://doi.org/10.1007/s00784-008-0228-2>

Ritter, A. V., Boushell, L. W., & Walter, R. (2019). Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry. In *Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry*. <https://doi.org/10.1016/c2015-0-05603-9>

Sakaguchi, R., Ferracane, J., & Powers, J. (2018). *Craig's Restorative Dental Materials 14th Edition*.

Sano, H., Chowdhury, A. F. M. A., Saikaew, P., Matsumoto, M., Hoshika, S., & Yamauti, M. (2020). The microtensile bond strength test: Its historical background and application to bond testing. *Japanese Dental Science Review*, 56(1), 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2019.10.001>

Sezinando, A. (2014). Looking for the ideal adhesive - A review. *Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentaria e Cirurgia Maxilofacial*, 55(4), 194–206. <https://doi.org/10.1016/j.rpemd.2014.07.004>

Simon, S. (2018). *L'endodontie de A à Z* (CdP).

Söderholm, K.-J. M. (2007). Dental adhesives how it all started and later evolved. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 9 Suppl 2, 227–230. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a12209>

Spyrou, M., Koumpia, E. K., Kouros, P., Koulaouzidou, E., & Dionysopoulos, P. (2019). *The reparability of contemporary composite resins*. 8(3), 353–359. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.137647>

Stojicic, S., Shen, Y., Qian, W., Johnson, B., & Haapasalo, M. (2012). Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMiX. *International Endodontic Journal*, 45(4), 363–371. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01985.x>

Tezvergil, A., Lassila, L. V. J., & Vallittu, P. K. (2003). Composite-composite repair bond strength: Effect of different adhesion primers. *Journal of Dentistry*, 31(8), 521–525. [https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(03\)00093-9](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(03)00093-9)

Torabinejad, M., Khademi, A. A., Babagoli, J., Cho, Y., Johnson, W. Ben, Bozhilov, K., Kim, J., & Shabahang, S. (2003). A new solution for the removal of the smear layer. *Journal of Endodontics*, 29(3), 170–175. <https://doi.org/10.1097/00004770-200303000-00002>

Valente, L. L., Sarkis-Onofre, R., Gonçalves, A. P., Fernández, E., Loomans, B., & Moraes, R. R. (2016). Repair bond strength of dental composites: systematic review and meta-analysis. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 69, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.03.020>

Van Meerbeek, B., Peumans, M., Poitevin, A., Mine, A., Van Ende, A., Neves, A., & De Munck, J. (2010). Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. In *Dental Materials* (Vol. 26, Issue 2). Dent Mater. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.11.148>

Van Meerbeek, B., Yoshihara, K., van Landuyt, K., Yoshida, Y., & Peumans, M. (2020). From buonocore's pioneering acid-etch technique to self-adhering restoratives. A status perspective of rapidly advancing dental adhesive technology. *Journal of Adhesive Dentistry*, 22(1), 7–34. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a43994>

Van Meerbeek, B., Yoshihara, K., Yoshida, Y., Mine, A., De Munck, J., & Van Landuyt, K. L. (2011). State of the art of self-etch adhesives. *Dental Materials*, 27(1), 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.023>

Visuttiwattanakorn, P., Suputtamongkol, K., Angkoonsit, D., Kaewthong, S., & Charoonanan, P. (2017). Microtensile bond strength of repaired indirect resin composite. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 9(1), 38–44. <https://doi.org/10.4047/jap.2017.9.1.38>

VOCO GmbH, Knowledge Communication Department.(2015). *Grandio–Repair*. 1–2.

Yamauchi, K., Tsujimoto, A., Jurado, C. A., Shimatani, Y., Nagura, Y., Takamizawa, T., Barkmeier, W. W., Latta, M. A., & Miyazaki, M. (2019). Etch-and-rinse vs self-etch mode for dentin bonding effectiveness of universal adhesives. *Journal of Oral Science*, 61(4), 549–553. <https://doi.org/10.2334/josnusd.18-0433>

Yoshida, Y., Nagakane, K., Fukuda, R., Nakayama, Y., Okazaki, M., Shintani, H., Inoue, S., Tagawa, Y., Suzuki, K., De Munck, J., & Van Meerbeek, B. (2004). Comparative study on adhesive performance of functional monomers. *Journal of Dental Research*, 83(6), 454–458. <https://doi.org/10.1177/154405910408300604>

Youssef, J. A., Turbino, M. L., Youssef, M. N., & Matson, E. (2001). Resistência de união à dentina de resinas compostas associadas a sistemas adesivos com e sem carga. *Pesquisa Odontológica Brasileira*, 15(2), 157–160. <https://doi.org/10.1590/s1517-74912001000200013>